

Trabajo Fin de Grado

CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA Y ESTADO
DE CONSERVACIÓN DE LOS IBONES DE
VALLIBIERNA (BENASQUE, ESPAÑA)

ECOLOGICAL CHARACTERIZATION AND
CONSERVATION STATUS OF THE HIGH-
MOUNTAIN LAKES OF VALLIBIERNA
(BENASQUE, SPAIN)

Autor

Mario Gaspar Girón

Directora

Rocío López-Flores

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

2019

ÍNDICE

RESUMEN/ABSTRACT	3
1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. CONCEPTO, IMPORTANCIA ECOLÓGICA, IMPACTOS Y PROTECCIÓN DE LOS IBONES	4
1.2. LA COMUNIDAD ACUÁTICA DE LOS IBONES	6
2. OBJETIVOS DEL TRABAJO	9
2.1. OBJETIVO GENERAL	9
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3. ÁREA DE ESTUDIO	10
3.1. ORIGEN GEOLÓGICO DE LOS IBONES.....	10
3.2. EL PARQUE NATURAL POSETS-MALADETA	11
3.3. EL VALLE Y LOS IBONES DE VALLIBIERNA	12
4. MATERIAL Y MÉTODOS	17
5. RESULTADOS	22
5.1. DETERMINACIÓN DE LA SUBCUENCA QUE OCUPA CADA IBÓN	23
5.2. ANÁLISIS DE VARIABLES FISICOQUÍMICAS	24
5.3. ANÁLISIS DE COMPUESTOS DE NITRÓGENO Y FÓSFORO	26
5.4. ESTADO TRÓFICO DE LOS IBONES: CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA (Chl. <i>a</i>)	26
5.5. COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA	27
5.6. COMUNIDAD ZOOPLANCTÓNICA	28
5.7. COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS.....	28
5.8. COMPARACIÓN DE LA COMUNIDAD Y LAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LOS IBONES..	29
5.9. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS TRES IBONES: ÍNDICE ECLECTIC	32
6. DISCUSIÓN	34
7. CONCLUSIONES	39
8. AGRADECIMIENTOS	40
9. REFERENCIAS	41
10. ANEXOS	47
10.1. ANEXO I: Resolución del INAGA para la captura de macroinvertebrados.	47
10.2. ANEXO II: Resolución del Parque Natural Posets Maladeta para circulación con vehículo particular ...	48
10.3. ANEXO III: Imágenes de los tres ibones de Vallibierna	49
10.4. ANEXO IV: Imágenes de algunos grupos planctónicos encontrados	50
10.5. ANEXO V: Familias de macroinvertebrados	51

RESUMEN

Los ibones son sistemas leníticos oligotróficos de origen glaciar situados en el Pirineo aragonés. Se caracterizan por su dinámica generalmente dimíctica (Catalán et al., 1992) y la permanencia de hielo en su superficie durante varios meses al año dada su localización, generalmente, por encima de los 1.800m de altitud (Margalef, 1949). Estas características junto a su aislamiento geográfico, hacen de los ibones sistemas especialmente sensibles a la alteración de su dinámica natural (Catalán et al, 2006). Los principales impactos a los que están sometidos en la actualidad son el aprovechamiento hidroeléctrico, la introducción de ictiofauna (Catalán et al., 2006) y la presión antrópica debida al turismo. El estudio de estos lagos hasta la fecha ha estado principalmente enfocado a la investigación de sus características comunes y generales más que hacia la caracterización de sus rasgos individuales. En el presente trabajo se estudian por primera vez las principales características limnológicas y de la comunidad biológica de los ibones de Vallibierna, situados en el Valle de Benasque (Aragón, España). Los resultados mostraron que a pesar de su proximidad y cuenca común, presentan importantes diferencias en su ecología, tales como la composición y diversidad de la comunidad planctónica y bentónica, la concentración de clorofila-a y también respecto a características físico-químicas como el pH y la conductividad.

Palabras clave: Lagos, alta montaña, plancton, macroinvertebrados, limnología.

ABSTRACT

The oligotrophic high-mountain glacier lakes in the aragonese Pyrenees are usually called *ibones*. They are also characterized by their dimictic dynamics (Catalán et al., 1992) and the permanence of ice on their surface for several months a year, as a result of their location, normally above 1,800m high (Margalef, 1949). These features plus their geographic isolation, make these lakes especially susceptible of alterations in their natural dynamics (Catalán et al, 2006). The main threats affecting these systems nowadays are hydropower exploitation, fish species introductions (Catalán et al, 2006) and the increasing human pressure due to tourism. The studies on these lakes have been traditionally approaching their common and general features more than their individual ones. This paper focuses on the limnology and the biological community of three previously unstudied lakes located in Benasque Valley: the lakes of Vallibierna (Aragón, Spain). Despite their proximity and common basin, important differences were found among them, such as the composition and diversity of the planktonic and benthic communities and the chlorophyll-a concentration of each lake, but also differences in physicochemical features as pH and conductivity between some lakes.

Key Words: High-mountain lakes, macroinvertebrates, plankton, limnology.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. CONCEPTO, IMPORTANCIA ECOLÓGICA, IMPACTOS Y PROTECCIÓN DE LOS IBONES

La palabra ibón es la denominación que reciben los lagos de alta montaña de origen glaciar en el Pirineo aragonés (localmente existen otras denominaciones como *estany* o *basa*). La mayoría de ellos están generalmente localizados entre los 1.800 y los 2.600 metros de altitud (Margalef, 1949), si bien es cierto que existen excepciones a dicho rango de distribución, encontrándose numerosos ejemplos a mayor y menor altitud. Los ibones, al igual que el resto de lagos de origen glaciar del planeta, son ecosistemas leníticos que destacan por su carácter oligotrófico, en ausencia de perturbaciones, hasta bien alcanzado un alto grado de colmatación, debido a las escasas aportaciones de materia orgánica y nutrientes procedentes del medio terrestre circundante y su aislamiento del medio antrópico. Las estrictas condiciones climáticas, litológicas y geomorfológicas que la alta montaña impone a estos sistemas, tales como la permanencia del hielo en sus superficies durante hasta 7 meses al año en los más elevados (Margalef, 1949), convierten a los ibones en ecosistemas de elevado valor ecológico y altamente sensibles a alteraciones de su dinámica natural (Catalán et al., 2006). Todas estas características resultan en última instancia en un medio físico muy exigente para las comunidades biológicas, destacando la extraordinaria escasez de compuestos limitantes, de forma que el reciclaje interno es un elemento de enorme importancia a la hora de definir la química de las aguas. A su vez, se produce una alta variabilidad estacional en la disponibilidad de luz: una elevada radiación solar en los meses estivales, muy reducida posteriormente cuando los ibones permanecen congelados debido a la nieve acumulada sobre su superficie, con sus consecuentes efectos sobre la producción primaria. Estos dos periodos coinciden con intensa estratificación de la columna de agua que contrastan con otros dos de mezcla, por lo que se trata de sistemas generalmente dimícticos (Catalán et al., 1992). A estas características, hay que añadir otros factores específicos de la cordillera que incrementan considerablemente el potencial de biodiversidad de los lagos pirenaicos de origen glaciar, así como el del resto de ecosistemas pirenaicos, tales como: su disposición geográfica en el eje este-oeste y la consecuente heterogeneidad en la influencia de los climas mediterráneo y atlántico, la diversidad litológica, sus acusados gradientes altitudinales, la heterogénea carga de usos humanos tradicionales, etc.

No existe una legislación específica para la protección de todos los ibones altoaragoneses, sin embargo, varios de ellos sí que tienen reconocimiento legal al estar

incluidos en el Decreto 204/2010, de 2 de noviembre, del Gobierno de Aragón, por el que se crea el Inventario de Humedales Singulares de Aragón y se establece su régimen de protección. A pesar de ello, cabe destacar, que además de no incluir la totalidad de los ibones (menos del 56% -137 ibones de los 245 totales, considerando como tales aquellas masas de agua no temporales de origen glaciar con una superficie no inferior a 0,2ha-; Lampre et al., 2009), esta normativa no contempla actividades lúdicas tales como el baño o los deportes acuáticos, ni tampoco propone soluciones para aquellos ibones en los cuales se introdujeron peces en el pasado. A escalas mayores en cuanto a figuras de protección, los ibones se encuentran a menudo enmarcados en varias de ellas simultáneamente (dependiendo de su localización) bajo la estructura de la Red Natural de Aragón (Ley 8/2004, BOA), pudiendo ser dichas figuras las de Parque Natural o Parque Nacional (DL 1/2015, BOA), Reserva de la Biosfera de la UNESCO (Ley 42/2007, BOE) y/o bajo alguna figura de la Red Natura 2000 (Ley 42/2007, BOE), siendo estas Lugar de Interés Comunitario (LIC; Directiva 92/43/CEE) y/o Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA; Directiva 2009/147/CE).

En la actualidad y a escala de la cordillera, los impactos de origen antrópico más importantes a los que se enfrentan los ibones son la construcción de infraestructuras para el aprovechamiento hidroeléctrico, la ictiofauna introducida como recurso para la pesca deportiva (Catalán et al., 2006) y en los últimos años, la creciente presión turística que ha derivado no solo en una mayor afluencia de personas sino también en un aumento de actividades inapropiadas tales como el baño y los deportes acuáticos. La importancia del impacto producido por el aprovechamiento hidroeléctrico recae principalmente en los cambios drásticos en el volumen producidos por la construcción de presas y las posteriores detracciones de agua para la producción eléctrica. Como resultado, la altura que alcanza la superficie del agua es variable y esto supone la total alteración del litoral, la zona con mayor diversidad del lago. En segundo lugar, el impacto producido por la introducción de peces tiene su fundamento inicial en que dichas especies por si mismas son incapaces de alcanzar por si solas estos sistemas remotos, debido principalmente a las grandes pendientes y saltos de los torrentes que descienden desde ellos (Ventura et al., 2017) y que en ciertos casos incluso presentan tramos subterráneos. Las especies introducidas en los ibones varían desde autóctonas, procedentes de los ríos de la zona, hasta otras totalmente alóctonas a la Península Ibérica. En cualquiera de los dos casos resulta en un mismo efecto de cascada trófica derivada la introducción de un escalafón superior en la cadena trófica. Como últimas consecuencias de este impacto, además de la amenaza por depredación sobre especies autóctonas de los lagos como anfibios (Miró et al., 2018) y macroinvertebrados (Schilling

et al., 2009), se da un cambio total en la dinámica del ecosistema hacia la eutrofización (Ventura et al., 2017). Por último, el impacto debido a la presión turística, aunque en crecimiento, presenta una distribución heterogénea, concentrándose especialmente en aquellos lagos con mayor facilidad de acceso y más explotados como reclamo turístico. En un segundo plano de importancia, existen otros impactos antrópicos indirectos como la acidificación y la contaminación por metales pesados y compuestos orgánicos persistentes (Catalán et al., 2006).

1.2. LA COMUNIDAD ACUÁTICA DE LOS IBONES

La comunidad biológica que presentan los ibones está fuertemente influenciada por el aislamiento geográfico (dificultad en la dispersión de las especies), la altitud y la estacionalidad de las condiciones y recursos (Catalán et al., 2006). A las consecuencias que estas características impone sobre el medio acuático de los ibones, han respondido los organismos que lo habitan con diferentes adaptaciones evolutivas, como son: la mixotrofia (Ortiz-Álvarez et al., 2018), protección de la radiación UV mediante pigmentos accesorios (Korbee et al., 2012; Tartarotti et al., 2017), diferentes estrategias de dispersión (Catalán et al., 2006), cambios fenológicos ligados a formas de resistencia (Catalán et al., 1992; McMinn y Martin, 2013), etc.

En primer lugar, a nivel planctónico, cabe mencionar el picoplancton, es decir, aquella porción del plancton compuesta por organismos unicelulares con un tamaño inferior a 2 μ m (destacando sobre todo los grupos procariotas, es decir, Bacteria y Archaea). Catalán et al. (2006) lamentan un gran desconocimiento de su estructura en general y especialmente en los lagos oligotróficos de alta montaña, debido a la dificultad que conlleva su estudio (resultado de su pequeño tamaño, la ausencia de rasgos morfológicos destacables y su dificultad de cultivo). El estudio de esta comunidad en todos los medios acuáticos suscita gran interés, ya que supone la mayor fracción de la diversidad fisiológica y filogenética del planeta (Woese, 1987) y además, es parte elemental en el reciclaje interno de los ecosistemas acuáticos.

El resto de la comunidad planctónica lo conforman formas de vida eucariota (fitoplancton y zooplancton). En cuanto a este conjunto de organismos, estudios recientes afirman que su alta diversidad en lagos de alta montaña, presenta contribuciones similares de autótrofos, heterótrofos y parásitos, así como la existencia de un alto porcentaje de desconocimiento (novedad genética) entre los mismos (Ortiz-Álvarez et al., 2018). Sin embargo, los primeros estudios de esta porción de la comunidad planctónica se remontan varias décadas en el pasado. Ya hace más de medio siglo, Margalef (1949) definió las características ecológicas básicas asociadas a

estos ecosistemas en cuanto a su comunidad planctónica. En primer lugar, argumentaba respecto al fitoplancton que como productores primarios, su capacidad de producción y por ende su abundancia y el estado trófico de estos lagos, están limitados no por falta de entradas de energía al sistema (dada la elevada radiación solar a las altitudes a las que se encuentran estos lagos y la transparencia de sus aguas), sino por insuficiencias en la entrada de materia a los ciclos de producción como resultado de las bajísimas concentraciones de compuestos limitantes: moléculas inorgánicas solubles de nitrógeno y el fósforo. A estas insuficiencias, deben añadirse los efectos sobre la producción impuestos por el clima de alta montaña, tales como los estrechos márgenes de tiempo (los pocos meses de deshielo de verano) de los que la comunidad de productores primarios dispone para desarrollarse (Wissinger et al., 2016). Asimismo, ya citaba entonces Margalef (1949) una importante abundancia relativa de las diatomeas y los flagelados. Años después, Catalán et al. (1992) concretan las disposiciones anteriores y hablan de la frecuencia heterogénea de muchos grupos planctónicos a lo largo del año, con diferencias especialmente destacables entre los períodos con y sin la superficie congelada del lago. Se comenta asimismo, la aparición de algunos grupos de diatomeas formando colonias durante los períodos de mezcla de la columna de agua, de la permanencia de otros durante todo el año y la mayor presencia de otros géneros durante la estratificación estival como *Cyclotella*. Asimismo destacan presencia frecuente de criptófitos y de crisófitos como *Dinobryon* (así como otros mixótrofos). Esta organización responde a las estrategias de vida de los organismos, siendo las diatomeas, por ejemplo, capaces de reproducirse rápido en épocas de mezcla, mientras otros taxones, con estrategias alternativas a la autotrofia, de crecimiento más lento y células motiles, aprovechan los momentos de estratificación.

Las peculiaridades de la base de la cadena trófica en los sistemas leníticos oligotróficos de montaña, tienen unos efectos esperados sobre la producción secundaria (Wissinger et al., 2016), entre los que cabe mencionar una consecuentemente baja producción de zooplancton y de macroinvertebrados (de los que se hablará más adelante). De esta manera, la productividad debida a los productores secundarios debería ser menor y las cadenas tróficas más cortas que en lagos situados a menor altitud como consecuencia de la escasa producción primaria y las bajas tasas metabólicas que imponen las temperaturas del clima alpino (Plante y Downing, 1989; Arim et al. 2007), sin embargo, la escasez lleva a la diversificación funcional de la red trófica, lo cual incrementa su complejidad. Catalán et al. (1992) corroboran esta relación entre la producción primaria y la secundaria haciendo hincapié en que la diversidad y la abundancia del zooplancton de pequeño tamaño varía, conforme a la de fitoplancton,

según el grupo taxonómico y la época del año, destacando especies como *Asplanchna priodonta* y *Kellicotia longispina*; mientras que las especies de zooplancton de gran tamaño son pocas y entre ellas destacan *Cyclops abysorum* y *Daphnia longispina*.

En cuanto a la comunidad bentónica, destacan en ella tanto los biofilms como la presencia de macroinvertebrados. En cuanto a los primeros, Bartrons et al. (2012) enfatizan su importancia para los ciclos del carbono de estos sistemas, pudiendo incluso dominar en la producción primaria y la gran diversidad de las comunidades procariontas epilíticas (con altos porcentajes de novedad genética). En cuanto a los macroinvertebrados, Catalán et al. (2006), destacan que este grupo lo componen taxones con ciclos vitales, estrategias tróficas y de dispersión muy diferentes. Asimismo, citan una relación inversa de la abundancia con la altitud para ciertos grupos ampliamente distribuidos. Se resalta también, que si bien la capacidad de dispersión y por tanto la manera en que alcanzaron estos sistemas los insectos de la comunidad bentónica, es gracias a una fase adulta voladora, dicha capacidad en grupos sin una fase de este tipo (Oligochaeta, Nematoda, Hydrachneida, etc.) es dependiente de un transporte pasivo, bien sea mediado por insectos como vectores o por el viento en formas de resistencia. Enfatizan en este punto a la familia Chironomidae (Diptera), no solo por actuar como vector de transporte para ciertos grupos sin capacidad de dispersión activa (como los citados anteriormente) sino también por su importancia como recurso trófico. Del mismo modo, un extenso trabajo en el que se recoge información de sistemas lacustres alpinos de diferentes lugares del planeta (Wissinger et al., 2016), cita a su vez dos artículos en los que se describe a los quironómidos y a los oligoquetos como los mayores contribuyentes en número y biomasa de la comunidad de macroinvertebrados (Füreder et al., 2006; Laville, 1971) de dichos sistemas. Ese mismo trabajo, cita también un estudio realizado en pequeños lagos de alta montaña del Pirineo francés hace más de treinta años, en el cual ya se reporta una buena representación y contribución a la biomasa de la comunidad por parte de plecópteros, efemerópteros, tricópteros, megalópteros, bivalvos y coleópteros (Le Cren y Lowe-McConnell, 1980).

Por último, cabe recalcar, que lo largo de este apartado se han comentado varias particularidades de los ibones a partir de las cuales puede extraerse una característica general más de estos sistemas. Entre dichas particularidades se encuentran: la presencia de grupos taxonómicos con un alto grado de novedad genética (Ortiz-Álvarez et al., 2018; Bartrons et al., 2012), las escasas estrategias de dispersión que han permitido salvar las dificultades que supone alcanzar los ibones, entendiéndolos como sistemas bajo un importante aislamiento e incluso comunidades con gran potencial de

investigación apenas estudiadas (Catalán et al., 2006). Pues bien, de nuevo Margalef (1949), mucho antes incluso de que la mayoría de los estudios anteriormente citados se pudieran realizar (los cuales evidencian un importante aislamiento evolutivo de ciertos grupos en estos sistemas), ya describió que cada ibón constituye por sí mismo una biocenosis (en palabras del autor: “Cada ibón puede considerarse como un biotopo casi cerrado, es decir, como un medio que alberga un sistema biológico formado por un conjunto equilibrado de organismos que, a través, y aun a pesar de un dinamismo propio, permanece indefinidamente en una forma semejante a sí misma, siendo poco influenciado por los sistemas biológicos exteriores al biotopo”), recalcando una característica más del gran valor ecológico que estos sistemas suponen (incluso a escala individual) y favoreciendo la dotación de argumentos de cara a su protección.

2. OBJETIVOS DEL TRABAJO

2.1. OBJETIVO GENERAL

Describir la ecología y el estado trófico los ibones de Vallibierna (n=3) y compararlos mediante la subcuenca que ocupa cada uno, sus variables físico-químicas y las comunidades de macroinvertebrados, zooplancton y fitoplancton.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinación de variables físico-químicas de cada ibón: superficie de la subcuenca, superficie del ibón, altitud, profundidad máxima, temperatura, concentración de oxígeno, pH, conductividad, concentración de nitratos y fosfatos y concentración de clorofila-a.
- Conocer la composición de la comunidad de macroinvertebrados, fitoplancton y zooplancton presente en estos sistemas.
- Establecer la densidad y diversidad que pueden presentar los ibones respecto a dichos organismos.
- Establecer relaciones entre la estructura de la comunidad, la diversidad e índices biológicos y las variables fisicoquímicas.
- Aplicación de índices de calidad ecológica específicos para este tipo de sistemas con el fin de determinar su estado de conservación.

3. ÁREA DE ESTUDIO

3.1. ORIGEN GEOLÓGICO DE LOS IBONES

Siendo lagos glaciares, los ibones tienen su origen en la acción erosiva y concretamente en la formación de cubetas de sobreexcavación por parte de los glaciares pirenaicos (Bordonau et al., 1989) en su apogeo durante el último ciclo de enfriamiento del globo. La cronología de este periodo, en cuanto a las dataciones del máximo avance glaciar, por ejemplo, no está libre de controversia. Algunos estudios comparativos denuncian incluso la deficiencia de ciertos métodos de datación dadas las diferencias encontradas de hasta decenas de miles de años entre montañas muy próximas (García-Ruiz et al., 2010), por ello los datos aquí aportados deben ser tomados con cautela.

Según Copons y Bordonau (1997), en los Pirineos, la máxima extensión de los hielos se alcanzó hacia 45.000-50.000 años BP (*before present*). Posteriormente, y en concreto en el macizo de la Maladeta, entre 16.000 y 10.000 años BP, con la retirada de los hielos hacia las cotas más altas de los circos muy poco antes del inicio del Holoceno, dichas cubetas fueron quedando descubiertas y rellenadas por aguas de fusión glaciar, nival y por supuesto por precipitaciones dando lugar a los actuales ibones del área de estudio. En las últimas décadas, dada la progresiva y continuada retirada de los glaciares, han ido apareciendo ibones en cotas muy elevadas (por encima de los 2.500m), a menudo represados en las morrenas dejadas por el breve avance glaciar de la Pequeña Edad de Hielo (s.XV-s.XIX).

La morfología y otras variables fisicoquímicas de los ibones dependen en gran medida del sustrato litológico sobre el que se localizan. En el Pirineo aragonés, la mayoría de los ibones se localizan sobre sustratos plutónicos (Panticosa, Posets y Maladeta) siendo menos abundantes en macizos calcáreos (Ordesa, Tendeñera Partacua, Bernera, etc) y menos todavía sobre sustratos metamórficos como esquistos y pizarras. Esta diferencia de abundancia entre los dos principales sustratos sobre los que se asientan los ibones aragoneses es debida principalmente a la permeabilidad y solubilidad de los sustratos calizos. Esta característica, a su vez, resulta generalmente en valores más elevados de conductividad y pH en dichos ibones que en aquellos sobre sustratos plutónicos, denotando la importancia del sustrato para la ecología de estos sistemas (Camarero et al., 2009; Jacquemin et al. 2019).

3.2. EL PARQUE NATURAL POSETS-MALADETA

Los ibones de estudio se hayan se circunscritos al Parque Natural Posets-Maladeta, declarado por la Ley 3/1994 del Gobierno de Aragón. Se trata del segundo Espacio Natural Protegido de mayor extensión de la Comunidad Autónoma con sus 33.440,6 ha de Parque Natural y 5.290,2 ha de Zona de Protección Periférica, solo por detrás del Parque Natural de la Sierra y los Cañones de Guara. Comprende los términos municipales de Gistaín, San Juan de Plan, Sahún, Benasque y Montanuy. Su límite occidental se extiende por el Valle de Chistau, rodeando por el oeste el macizo de Bagüñoñola hasta la zona de Viadós, donde vira al oeste para acoger al valle del Cinqueta de La Pez y finalmente alcanzar la divisoria con Francia en Peña Blanca. Desde este punto, siguiendo dicha frontera hacia el este, llega hasta la confluencia de las fronteras francesa, oscense y leridana, para seguir esta última hasta casi la boca sur del Túnel de Viella. Abandona la separación entre Lérida y Huesca para descender unos metros al oeste de la misma hacia el sur por el Valle de Barrabés, hasta la presa del embalse de Baserca. Comenzando desde dicho punto y hacia el oeste, se extiende el límite sur, siguiendo la divisoria de aguas que marcan Sierra Sarronera y Sierra Negra, hasta interceptar el Alto Valle del Ésera en el punto donde desagua el río Vallibierna. Evita el fondo de valle remontando hacia el norte a media ladera hasta los Baños de Benasque para descender del mismo modo por la otra vertiente hasta prácticamente el collado de Sahún, donde alcanza de nuevo el Valle de Chistau (Figura 1).

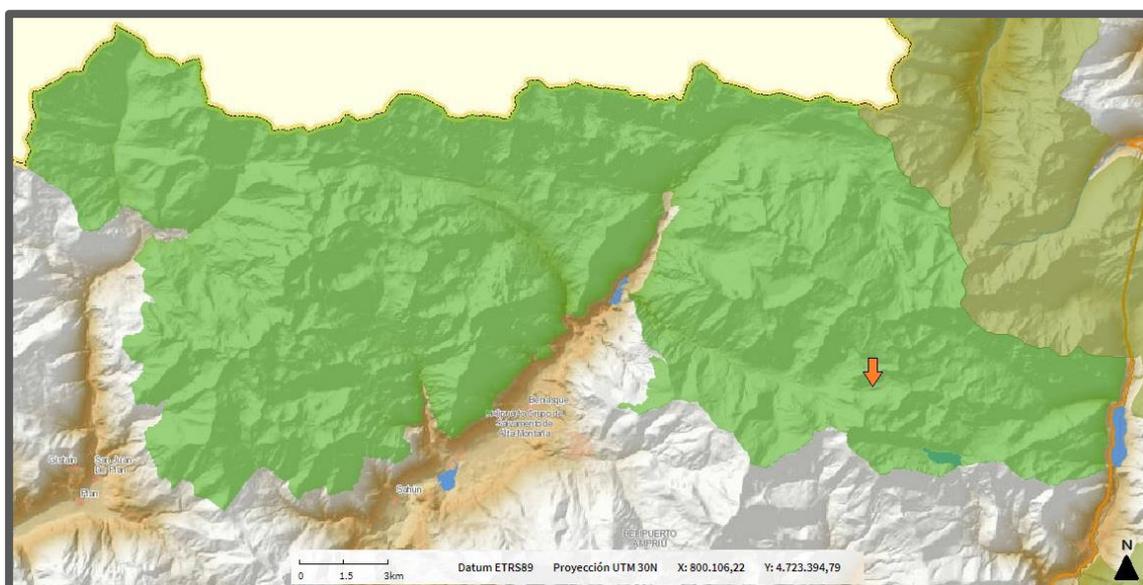


Figura 1. Ámbito geográfico del Parque Natural Posets Maladeta. El área de estudio se localiza cercano al extremo sudoriental del mismo. Elaboración propia mediante la aplicación Geoportal.

Dentro del perímetro definido, quedan incluidos cuatro de los macizos más emblemáticos de todo el Pirineo; dados su valor paisajístico y su altitud: Bachimala, Perdiguero, Posets y Maladeta; superando todos ellos los tres mil metros de altitud y en

especial estos dos últimos, por ser los macizos más elevados de toda la cordillera (coronando a 3.375m en Lardana/Llardana y en el Aneto a 3.428m respectivamente). A los pies de estos macizos quedan también circunscritos a la figura de protección grandes valles como la cabecera del Cinqueta, la Aigüeta de la Vall, la Aigüeta de Eriste, el Valle de Estós, la cabecera del Ésera, Ixalenques o el que ocupa el presente trabajo, Vallibierna. Debido a esta orografía, más del 70% de la superficie del parque se halla en cotas superiores a los 1800 m.

Son muchos y diversos los objetivos de conservación que justifican la declaración de esta figura de protección. Por un lado, la geomorfología glacial y periglacial de la zona, con su máximo exponente en la presencia de los glaciares más meridionales de Europa; geoformas dejadas por eventos pasados de intensa glaciación, tales como morrenas, ibones, valles de fondo plano, etc. y otras a menor escala como los suelos poligonales, los bloques erráticos, rocas aborregadas, canchales, etc. Asimismo, la diversidad litológica de la zona, hace posible la aparición y la coexistencia de geoformas de diferente índole junto a las anteriores, siendo asimismo de gran importancia los procesos kársticos sobre rocas solubles como son las calizas y que quedan representados en lapiares, dolinas y otros fenómenos hidrogeológicos como el Forau de Aigualluts. Consecuentemente, esta diversidad litológica y geomorfológica, junto con los gradientes altitudinales y las diferentes orientaciones de las laderas, sustentan una gran diversidad de ecosistemas: masas forestales que varían entre la influencia mediterránea y el clima eurosiberiano (debido a la altitud), praderas subalpinas, vegetación rupícola, bosques de ribera, etc. Todos estos lugares son el hábitat de especies de flora y fauna de gran interés, a menudo debido a su naturaleza endémica y/o al estar incluidas en alguna categoría de amenaza (Gobierno de Aragón, 2015)

3.3. EL VALLE Y LOS IBONES DE VALLIBIERNA

Los ibones de Vallibierna son tres lagos de alta montaña y origen glacial no estudiados hasta la fecha que se encuentran en el valle homónimo perteneciente al término municipal de Benasque, en la comarca oscense de Ribagorza (Aragón, España). El conjunto del valle y por ende los ibones de estudio se hallan circunscritos dentro del Parque Natural de Posets-Maladeta y cuentan asimismo con la declaración como LIC y ZEPA de la Red Natura 2000 bajo el mismo nombre, siendo prácticamente coincidente la superficie cubierta por las tres figuras de protección (Figura 2).

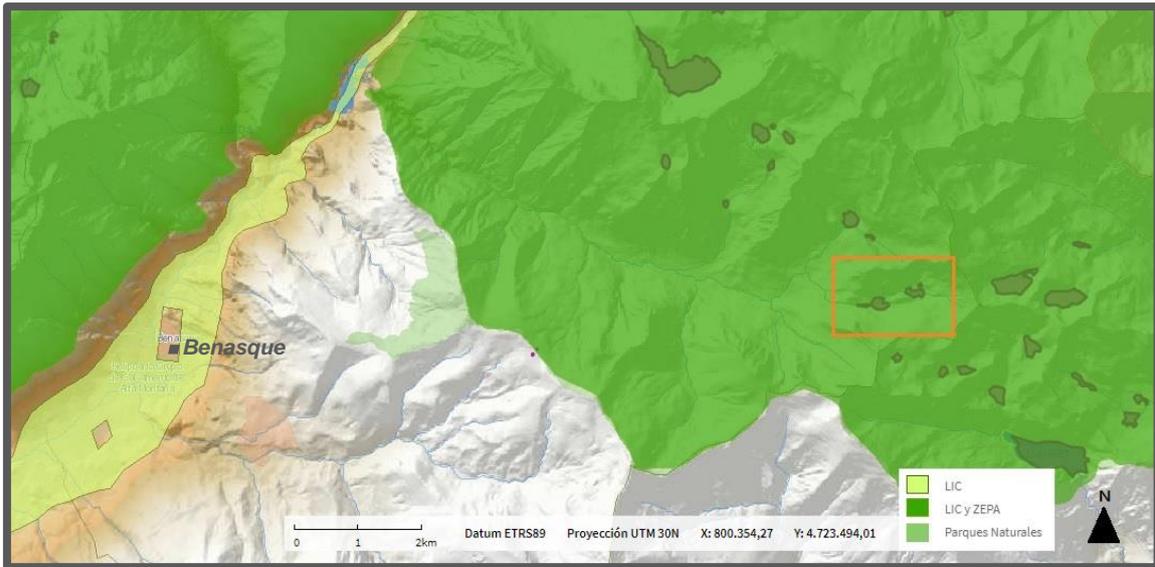


Figura 2. Figuras de protección y localización del área de estudio. Se aprecia el perímetro casi coincidente de las tres figuras de protección. Elaboración propia mediante la aplicación Geoportal.

En la Tabla 1 se muestran datos geográficos concretos de cada uno de los ibones de estudio (Lampre et al., 2009):

Tabla 1. Datos geográficos generales de los tres ibones de estudios. Elaboración propia a partir de los datos mostrados en El Gran Libro de los Ibones y Glaciares del Pirineo Aragonés (Lampre et al., 2009).

	Vallibierna Inferior	Vallibierna Superior	Ibonet de Vallibierna
Coordenadas UTM (Huso 31)	X:307974 Y:4719807	X:308558 Y:4719925	X:308652 Y:4720027
Altitud (m)	2.430	2.475	2.485
Superficie (ha)	3,9	2,5	0,2

El Valle de Vallibierna, es un valle de origen glaciar con orientación NW-SE, hoy en día recorrido por el río de mismo nombre y que cuenta con 10 km de longitud y una superficie de 3564 ha. aproximadamente. Queda limitado al norte y al este por el batolito granítico del macizo de la Maladeta y sus granodioritas periféricas, al sur por calizas devónicas y las pizarras silúricas de Sierra Negra (Martínez de Pisón, 1990) y finalmente por el Alto Valle del Ésera o Valle de Benasque al oeste, al que vierte sus aguas pocos kilómetros al norte de dicha localidad (Figura 3). Se trata de un valle colgado rodeado por cimas que superan los 3000msnm en ambas vertientes, tales como la Tuca d'Aragüells, los picos Maldito y Aneto o la Tuca del Cap de la Vall por el norte y las tucas de Vallibierna y Culebres por el sur. Hacia él, asimismo, desaguan multitud de subcuencas, también de origen glaciar (Martínez de Pisón, 1989), que descienden desde dichas cumbres con pendientes muy acusadas, dados los grandes gradientes altitudinales entre las crestas y el fondo de valle. Entre estas subcuencas cabe destacar al norte los circos de Aragüells, Coronas y Llosás y al sur el barranco de Fangonielles, el circo de Estibafreda y la Canal de Vallibierna. La cabecera del valle, considerándose esta como la subcuenca más alejada a su desembocadura, en este caso la más oriental,

corresponde a un circo que remata en la Tuca de Cap de LLauset y que alberga los tres ibones de estudio. Destacan en él, como en el resto de subcuencas del valle, las pendientes de rocas aborregadas, los bloques erráticos, las superficies cubiertas por canchales de grandes bloques y morrenas tanto del último ciclo glaciar como de la Pequeña Edad de Hielo como las de Coronas y Llosás (Figura 4).

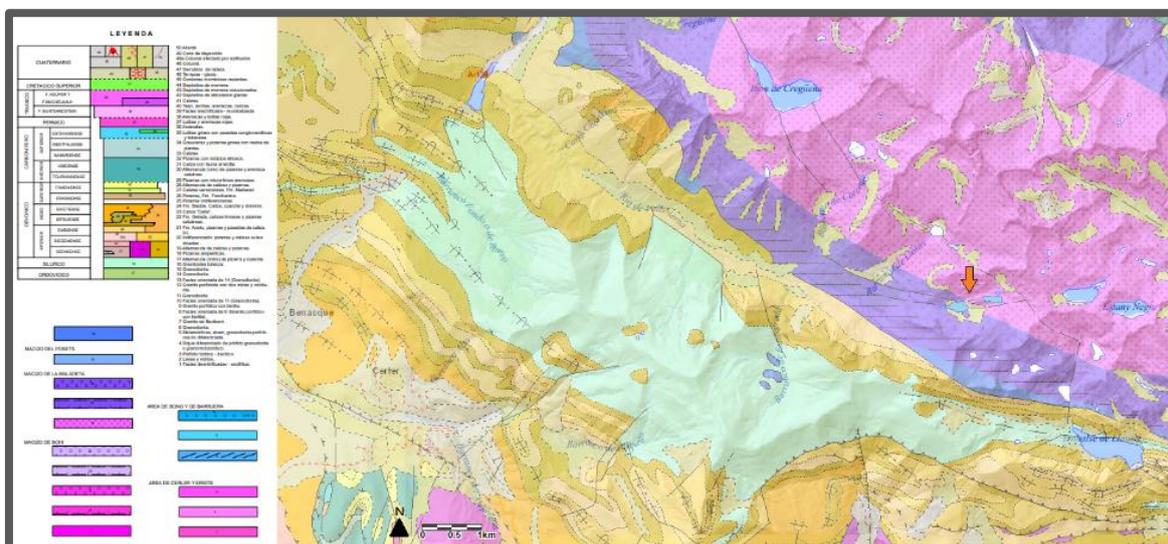


Figura 3. Mapa litológico del área de estudio (marcada con una flecha). Se observa como el contacto entre las granodioritas y los granitos del macizo de la Maladeta atraviesa el área ocupada por los ibones. Elaboración propia mediante el Visor IGME.



Figura 4. De izquierda a derecha: Aneto, Tempestades y Tuca del Cap de la Vall desde la Pleta de Llosás (Valle de Vallibierna). Bajo las dos primeras cimas se observa una morrena de la Edad de Hielo. Destacan asimismo otras formas típicas del modelado glaciar como las rocas aborregadas y los bloques erráticos y otras del periglacial como los canchales (gleras) de grandes bloques.

El clima del macizo de la Maladeta, definido por Lampre (2001) entre otros, dentro del cual se inscribe el Valle de Vallibierna a tales efectos, se considera mayoritariamente como clima de alta montaña. Las razones para tal designación son varias, pero esencialmente por presentar una temperatura media anual inferior a 5°C,

precipitaciones superiores a 1000mm anuales y manto nivoso permanente de 6 a 8 meses al año. En el valle de estudio, dichas condiciones se dan en altitudes no inferiores a 1900m, altitud que coincide con la isoterma de la temperatura media de 0°C en los meses invernales (de diciembre a marzo). Por encima de este nivel, a partir de los 2900m aproximadamente y por tanto de manera minoritaria en el macizo, aparece el clima alpino. Se caracteriza por temperaturas medias anuales inferiores a los 0°C, precipitaciones no inferiores a 2000mm anuales y nieves perpetuas de 9 a 12 meses. La altitud a la que se da esta última tipología climática, la restringe lógicamente a las más altas crestas y cumbres del macizo. El gradiente térmico vertical equivale a -0,49°C/100m, similar al de otros puntos del Pirineo Central y Oriental. Los volúmenes de precipitación que se recogen en el macizo, de manera más concreta, son de poco más de 1300mm en las cotas más bajas y poco menos de 2000mm en las cotas en torno a 2200m. La distribución de estas precipitaciones a lo largo del año apuntan a un carácter mediterráneo-continental del macizo, con dos máximos anuales en primavera y otoño (aproximadamente 28% y 31% de las precipitaciones respectivamente) y dos mínimos en invierno y verano (aproximadamente 19% y 22% respectivamente). Este último, presenta las sequías típicamente mediterráneas pero parcialmente enmascaradas por fenómenos tormentosos. Por último, cabe apuntar que en base a la altitud de la isoterma de 0°C para cada uno de los meses de invierno (Lampre, 2001) y la altitud de los ibones de estudio, se puede deducir que su superficie queda congelada en algún momento del mes de noviembre o como tarde, principios de diciembre y que permanece helada hasta finales de marzo o primeros de abril como mucho.

La vegetación y la flora pueden jugar un papel importante en la presencia de ciertas especies de macroinvertebrados en los ibones de estudio, ya que suponen parte de su hábitat una vez alcanzada la fase adulta. La vegetación de Vallibierna es similar a la del resto del Alto Valle del Ésera, la cual fue bien definida por Villar (1982): hasta aproximadamente los 2.000-2.200m se extiende el piso forestal. La composición interna del bosque varía de modo que en las umbrías de las cotas más bajas del valle, aparece un denso bosque dominado por el abeto (*Abies alba*) al que acompañan pocas hayas (*Fagus sylvatica*), chopo temblón (*Populus tremula*), serbal de cazadores (*Sorbus aucuparia*) y abedul (*Betula pendula*). En el sotobosque destacan los helechos (*Pteridium sp.*, *Polystichon sp.*, etc.), la hepática (*Hepatica nobilis*), el acebo (*Ilex aquifolium*) y la frambuesa (*Rubus idaeus*) entre otros. A medida que aumenta la altitud (entre los 1600-1700m) comienza pinar subalpino, dominado por el pino negro (*Pinus uncinata*) y el rododendro (*Rhododendron ferrugineum*). La densidad general de la masa forestal disminuye progresivamente hasta formarse un paisaje de viejos ejemplares

ralos de pino negro, separados por pequeñas praderas, seguramente resultado de la gestión humana del pinar en el pasado con fuego y pastoreo, que marca el inicio del piso supraforestal. En dichas praderas, además del rododendro, destacan el acónito (*Aconitum napellus*), los lirios (*Iris xiphioides*), el sarrión (*Chenopodium bonus-hernricus*), etc. y encespedando, especies de gramíneas como *Nardus stricta* o *Festuca rubra* acompañadas por *Trifolium alpinum* y *Plantago alpina* entre otras. Finalmente, en torno a los 2.300m, el paisaje comienza a estar gobernado por la roca y especialmente por grandes gleras (puede apreciarse dicha transición entre el bosque, la pradera y la roca desnuda en el mapa de ocupación de suelo. Figura 5).

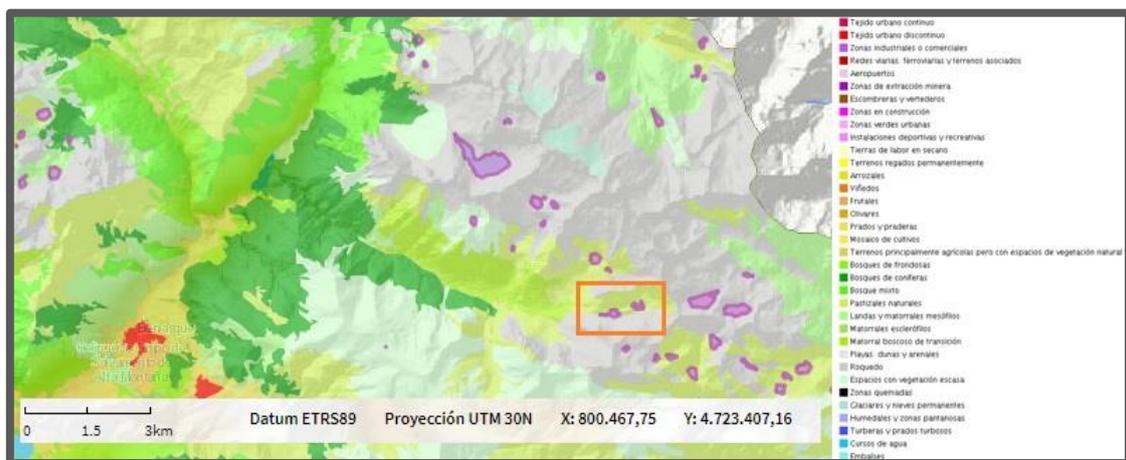


Figura 5. Ocupación del suelo del área de estudio según el proyecto Corine Landcover. Elaboración propia mediante la aplicación Geoportal.

Algunas de estas especies glareícolas, que se encuentran en sustratos silíceos, como el aquí descrito, son: *Galium cometerrhizon*, *Viola diversifolia*, *Carduus carlinoides*, etc. Ya a los pies de las cimas, en los ventisqueros, las especies más características son pequeñas leñosas pertenecientes al género *Salix*, tales como *S. herbácea*, *S. retusa* y *S. reticulata* que en reciben en su conjunto el nombre de *ixalencas* (o *ixalenguas*) en la lengua propia del Valle de Benasque. Finalmente, en las cimas por encima de los 2.500m, el viento y el hielo son los factores que determinan totalmente la comunidad vegetal. Estas cumbres ofrecen refugio para especies muy antiguas que con la retirada de los hielos de las glaciaciones, quedaron aisladas en los fríos techos de las cordilleras. Algunas de estas especies presentes en cimas benasquesas son la amapola olorosa (*Papaver suaveolens*), la margarita alpina (*Leucanthemopsis alpina*), *Plantago monsperma*, *Oxyria digyna*, etc. Por otro lado, en cuanto a la vegetación ligada a masas de agua, como lo son los ibones, destacan especies vegetales tales como la grasilla (*Pinguicula grandifolora*), hierba algodónera *Eriophorum latifolium*), musgos como los del género *Sphagnum* y algunos cárices como *Carex pyrenaica*. Cabe indicar que no es rara la presencia de especies vegetales ancladas al lecho de algunos ibones con sustrato fino como pueden ser *Ranunculus fluviatilis*, *Sparganium affine* o *Equisetum* sp.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

En primer lugar fue necesaria la solicitud de permiso de captura de macroinvertebrados con fines científicos al Instituto Aragonés de Gestión Ambiental (INAGA), que resolvió favorablemente pocas semanas tras realizar la solicitud (Anexo I). Asimismo, al tratarse de un espacio natural protegido y debido a la gran cantidad de material necesario para la toma de muestras, se solicitó a la dirección del Parque Natural de Posets-Maladeta un permiso para circular con vehículo particular por las pistas forestales de acceso estival restringido. Dicho proceso se resolvió también de manera favorable en primera instancia (Anexo II). Sin embargo, en el momento de realizar las salidas de muestreo y ponerse en contacto con los Agentes de Protección de la Naturaleza del parque para avisar sobre nuestra presencia en la zona, se nos informó de que dicho permiso de circulación era insuficiente. Con el documento escrito que la dirección del parque nos envió, aceptando nuestra petición, hubo que acudir a una de las instalaciones del parque para que se nos entregase una cartulina identificativa del vehículo y se tomasen los datos pertinentes del permiso. Dicho proceso debía llevarse a cabo cada vez que hubiese que acceder al parque, siendo un elevado coste temporal en la realización del muestreo pues supone desviarse 15 minutos más del inicio de la pista forestal, a lo que debe sumarse el tiempo de anotación de datos y entrega de la cartulina, el tiempo de vuelta al desvío hacia la zona de estudio y la devolución de la cartulina en las mismas instalaciones una vez terminada la actividad. Teniendo en cuenta que el tiempo de conducción que separa el aparcamiento del área de estudio de las instalaciones es de aproximadamente 45 minutos (15 de ellos en dirección contraria a la de retorno) y que dichas instalaciones tenían un horario de apertura de 09h a 21h, la pérdida de tiempo fue de aproximadamente dos horas por jornada de muestreo, a lo que se debe añadir la imposibilidad de comenzar siquiera el trayecto por la pista de acceso hasta pasadas las 09:00h. La dificultad en la realización de los muestreos en los horarios que nos fueron impuestos fue de gran importancia. Por ello se sugiere que para futuros proyectos similares se permita la solicitud de un permiso especial que facilite el trabajo de los investigadores.

Las muestras fueron tomadas en los meses de julio y agosto de 2019 en las horas centrales del día. En primer lugar, se procedió a una revisión *de visu* sobre la conectividad de los ibones entre si y del sustrato predominante del bentos. Asimismo se trató de averiguar la presencia o no de peces en cada uno de los ibones atendiendo a la información prestada por fuentes primarias, es decir, informantes originarios del Valle de Benasque.

La superficie de la subcuenca y el ratio de superficies subcuenca:ibón

Para la determinación de la superficie de la subcuenca de cada ibón se utilizaron herramientas GIS. Concretamente, se utilizaron las aplicaciones Geoportal (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Ministerio para la Transición Ecológica, 2010) e Iberpix 4 (IGN, 2017). Asimismo, se obtuvieron mediante los mismos procedimientos las superficies de cada ibón en lugar de tomarlos de la bibliografía a fin de homogeneizar las mediciones. Con ambos valores se calculó el ratio SC:SI a fin de estudiar su posible relación con las características ecológicas de los lagos (Camarero et al., 2009; Füreder et al., 2006; Jacquemin et al., 2019).

Análisis de otras variables fisicoquímicas

Se determinaron *in situ* los valores para la temperatura (°C), la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), el pH y la concentración de oxígeno (mg/L) mediante la medición con sonda multiparamétrica HQ30D (HACH, USA) en tres puntos diferentes del litoral para cada variable y cada ibón (Figura 6). Asimismo, se emplearon variables geográficas ya citadas anteriormente como la superficie o la altitud de los ibones de estudio mediante los datos proporcionados por la bibliografía (Lampre et al., 2009).



Figura 6. Medición de variables físico-químicas con sonda multiparamétrica en el Ibón Superior de Vallibierna. Fotografía por Marina Klaas.

Muestreo y análisis de la concentración de clorofila-a planctónica

Se filtró *in situ* un volumen de 2 litros agua de cada ibón a través de un filtro Whatman GF/F de poro $0,7\mu\text{m}$. La muestra se conservó en fresco y a salvo de la luz y fue congelada en un periodo máximo de 12 horas. Se preparó su contenido para el análisis mediante la extracción de los pigmentos en acetona al 100% durante 24h. Se

realizó un filtrado posterior del extracto a través de un filtro Whatman GF/C de poro 1,2µm para eliminar impurezas. Finalmente se determinó la concentración de clorofila-a mediante los valores de absorbancia obtenidos por espectrofotometría empleando las longitudes de onda 630nm, 645nm, 665nm y 750nm y la ecuación propuesta por el protocolo fijado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2013) para clorofila planctónica.

Concentración de nitrato, fosfato y fósforo total

Parte del volumen de agua filtrada durante el muestreo de clorofila-a fue almacenada con fin de determinar la concentración de estas dos especies químicas. Las muestras se conservaron en recipientes previamente lavados con ácido de limpieza (HCl al 10%) y una vez tomadas, se protegieron de la luz solar y fueron congeladas lo antes posible hasta su análisis. Las muestras fueron analizadas por el grupo de investigación de Agua y Salud Ambiental del Instituto Universitario de Ciencias Ambientales de la Universidad de Zaragoza. El método de análisis consistió en medición mediante colorimetría. Para cada compuesto de N y P se utilizaron diferentes reactivos y longitudes de onda de la lámpara siguiendo los protocolos prefijados para el set de análisis utilizado. Para la medición de amonio se empleó el reactivo indicado por el kit y se agitó hasta obtener un color amarillento y la muestra se midió a 420nm. Para el nitrato se empleó una reducción por cadmio mediante la adición del reactivo indicado por el set obteniéndose un color anaranjado medible a 525nm. Finalmente para la medición de fosfato y fósforo total, los reactivos empleados fueron el molibdato y un compuesto a base de aminoácidos que tiñó la muestra de color azul y permitió su medición a 525nm.

Muestreo y determinación de la composición del fitoplancton

Se llenó una botella ámbar con agua de cada ibón y la muestra fue fijada con lugol acético. Las muestras se sedimentaron con columnas de 100ml un mínimo de 24 horas. Se determinó su composición y abundancia mediante la observación en microscopio invertido Zeiss Axio Vert.1 (Zeiss, Alemania; Utermöhl, 1958) de 30 campos de visión a 400 aumentos y la ayuda de una guía de identificación (Streble et al., 1987) y la web Algaebase (Guiry y Guiry, 2019).

Muestreo y determinación de la composición del zooplancton

Se realizó la filtración in situ de un volumen conocido de agua (entre 2 y 9 litros) a través de una malla de 50µm. La muestra se fijó con alcohol deshidratado y se sedimentó. Se determinó la abundancia de individuos y su composición mediante microscopio invertido Zeiss Axio Vert.1 (Zeiss, Alemania) de 30 campos de visión a 400 aumentos y una guía de identificación (Streble et al., 1987).

Muestreo y determinación de la composición de los macroinvertebrados

Se realizó un muestreo mediante una red de poro de 100 μ m en la zona litoral (hasta los 80cm de profundidad) mediante la técnica de kick-sampling (Frost et al., 1971) y examinando también aquellas rocas que se encontraban en el transecto. Se realizaron 4 transectos de 4 metros de longitud cada uno (procurando abarcar una anchura de unos 30cm, de forma que se muestrearan aproximadamente 5m² por lago) en diferentes puntos de cada ibón (Figura 7). Las muestras se fijaron con alcohol 70% vol. (concentración final) y se determinó la composición de la comunidad mediante lupa electrónica Leica S9E (Leica, Alemania) en laboratorio, con la ayuda de al menos dos guías de identificación (Tachet et al., 2010; Oscoz et al., 2011).

Para las tres comunidades estudiadas se realizó el cálculo de índices taxonómicos básicos como la riqueza (S); índice de Shannon-Weaver (H), mediante logaritmo neperiano (Shannon, 1949) y equitatividad (E).



Figura 7. Muestreo de macroinvertebrados en el Ibón Inferior de Vallibierna. Fotografía por Rocío López

Análisis estadístico

Se aplicaron test univariable y multivariable para relacionar las variables fisicoquímicas de los ibones con la estructura de la comunidad de invertebrados. Concretamente, se realizaron test de correlación de Spearman, test ANOVA y Kruskal-Wallis para relacionar las variables físico-químicas y agrupar los lagos según estas, respectivamente. Previamente a la realización de los test se comprobó la normalidad y la homogeneidad de variancia. El test NMDS (*non-metric multidimensional scaling*) se

realizó con el objetivo de determinar la similitud de las tres comunidades en los lagos estudiados. Posteriormente, se representaron las variables ambientales y los índices taxonómicos en el diagrama formado por los dos primeros ejes del NMDS. Todos los análisis se llevaron a cabo con el software libre R (R Core Team, 2019) y los paquetes R Commander y vegan.

Estado de Conservación: índice ECLECTIC

El concepto de Estado de Conservación, viene definido por la normativa europea de la Directiva Hábitats, integrante de la Red Natura 2000 como “el conjunto de la influencias que actúan sobre el hábitat natural de que se trate y sobre las especies típicas asentadas en el mismo y que pueden afectar a largo plazo a su distribución natural, su estructura y funciones, así como a la supervivencia de sus especies típicas” (Directiva 92/43/CEE). Dentro de esta misma normativa, los ibones quedarían recogidos dentro de los Hábitats de Agua Dulce como parte del Grupo 31: Aguas Estancadas y a su vez, en base a su tipología ecológica, en el Tipo 2: Sistemas de Alta Montaña (morfogénesis glaciar o periglaciar) tal como se recoge en la ficha para la conservación de los tipos de hábitats de interés comunitario en España correspondiente al Grupo 31 “Aguas Continentales Retenidas. Ecosistemas Leníticos de Interior” (Camacho et al., 2009). En este documento, se propone un índice surgido del consenso científico en España, basado en las experiencias dadas por la Directiva Hábitats (Directiva 92/43/CEE), la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CEE) y el Convenio Ramsar, con el que poder evaluar el estado de conservación de ecosistemas leníticos conjugando sus metodologías, criterios e indicadores. Dicho índice, se ha denominado ECLECTIC (Estado de Conservación de las Lagunas y Humedales Españoles Catalogados por Tipologías e indicadores de Conservación) y es el utilizado en el presente trabajo para la determinación del Estado de Conservación de los tres ibones de Vallibierna. El protocolo de aplicación de dicho índice para los ibones que ocupan este trabajo, queda recogido en el apartado 3.4 del documento del grupo 31 y en el tipo de hábitat 3110 con tipología ecológica 2 (Camacho et al., 2009). Para la aplicación del índice hubo que calcular el Índice Trófico Planctónico (ITP), propuesto por Barbe et al. (1990), que permite establecer numéricamente y caracterizar el estado trófico de las aguas en base a la siguiente fórmula:

$$ITP = B \sum (Q_i A_j) - 5$$

Donde:

Q_i es el rango de calidad biológica asociado a los diferentes grupos fitoplanctónicos (varía entre 0 y 7).

A_j es un valor entre 0 y 5 asociado a la abundancia relativa de cada grupo planctónico.

B es un valor entre 1 y 3 asociado a la concentración de Chl.a (µg/L).

5. RESULTADOS

Una revisión de *visu* y el estudio de imágenes por satélite de la zona de estudio, evidenció que los tres ibones están conectados entre sí de manera escalonada, de manera que el situado a mayor altitud, el Ibonet, vierte sus aguas al Ibón Superior de Vallibierna y este, a su vez, al Inferior (Figura 8).

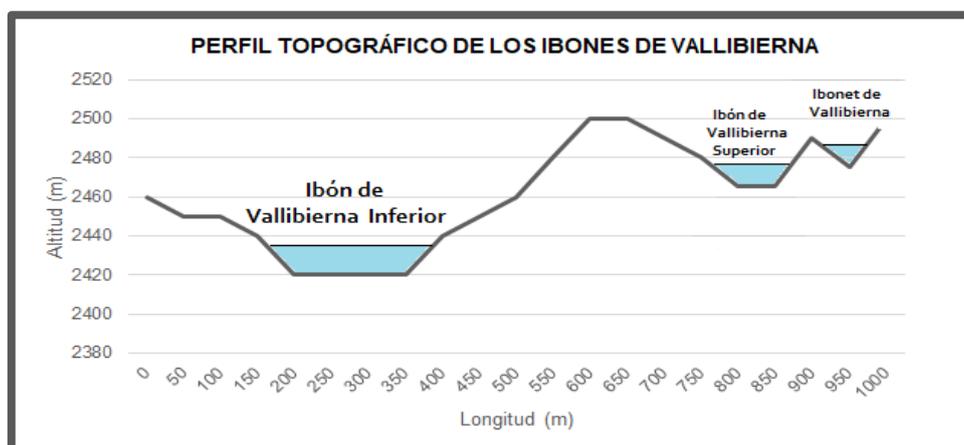


Figura 8. Perfil topográfico del área que ocupan los tres ibones de estudio. Elaboración propia mediante la obtención de los datos con el Visor Iberpix 4 y su representación con Microsoft Excel.

El primero lo hace a través de un pequeño y corto (5 metros aproximadamente) torrente bajo el suelo herboso que separa a ambos lagos. Mientras que los dos ibones a menor altitud están separados por un promontorio y a cada lado del mismo se extienden dos canchales de grandes bloques graníticos. Se constató la circulación de un torrente bajo el canchal más septentrional que desagua desde el ibón Superior hacia el Ibón Inferior de Vallibierna. Asimismo son visibles pequeños riachuelos que descienden desde el circo del Valle directamente hasta el Ibón Superior, esquivando al Ibonet (Figura 9).



Figura 9. Imagen por satélite en la que se aprecia la posición relativa de los tres ibones en el circo de Vallibierna y sus interconexiones. Fuente: Google Earth (2019)

En cuanto al sustrato predominante en cada ibón, se da una disminución del diámetro conforme aumenta la altitud. De este modo, en el litoral del Ibón Inferior predominan grandes bloques con pequeños tramos de rocas de mediano tamaño (de 10 a 15cm de diámetro), en el Ibón Superior predominan las gravas (de 1 a 2cm de diámetro) con tramos de rocas de mediano tamaño y finalmente, en el Ibonet, predominan los limos recubriendo un fondo plano con unos pocos bloques y rocas de mediano tamaño en la orilla más meridional (Se muestran imágenes de los tres ibones en el Anexo III).

La presencia de peces, en concordancia con lo que se cita en algunas normativas de pesca aragonesas (BOA, 2014), puede considerarse segura para los dos ibones a menor altitud, hecho que evidencian algunos testimonios recabados por el autor de habitantes de la zona y documentos gráficos encontrados online. Es muy probable que sea también el caso del Ibonet, pero dado su pequeño tamaño, el relativo aislamiento respecto a los otros dos ibones, la falta de fuentes gráficas y primarias y la no detección *in situ* de dicha ictiofauna, no se ha podido confirmar la presencia de peces en este pequeño lago.

5.1. DETERMINACIÓN DE LA SUBCUENCA QUE OCUPA CADA IBÓN

A continuación, se muestran en la Tabla 2 los resultados obtenidos en el cálculo de la ratio entre el área de las subcuencas y las superficies de cada ibón. Estos resultados serán utilizados más adelante para estudiar su posible influencia sobre las diferentes características ecológicas analizadas en este trabajo.

Tabla 2. Resultados obtenidos del análisis mediante GIS de las superficies de los ibones y sus subcuencas y del posterior cálculo del ratio SC:SI (Superficie subcuenca:superficie ibón). Elaboración propia.

	Vallibierna Inferior	Vallibierna Superior	Ibonet de Vallibierna
Superficie de la cuenca (ha)	191,5	111,9	22,2
Superficie del ibón (ha)	3,90	2,68	0,29
Ratio SC:SI	49,10	41,75	76,55

El Ibonet, es el lago con menor superficie y menor área de subcuenca, sin embargo, resultó tener la mayor relación SC:SI y por tanto la mayor cuenca en relación a su tamaño. Los otros dos ibones poseen una subcuenca mucho mayor, especialmente el ibón Inferior, pero debido a la gran extensión de sus masas de agua, mostraron relaciones SC:SI más bajas, siendo la menor la del Ibón Superior.

5.2. ANÁLISIS DE VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS

Los resultados obtenidos en la medición mediante sonda multiparamétrica de cuatro variables físico-químicas (temperatura, concentración de oxígeno, conductividad y pH), se muestran a continuación en la Tabla 3. Se realizaron tres mediciones por cada variable y cada ibón en diferentes puntos del mismo:

Tabla 3. Media y desviación estándar de las diferentes variables físicoquímicas en los tres ibones estudiados mediante mediciones *in situ* con sonda multiparamétrica. Elaboración propia.

	Vallibierna Inferior	Vallibierna Superior	Ibonet de Vallibierna
Temperatura (°C)	15,63 ± 0,12	18,73 ± 0,51	11,37 ± 0,80
[O ₂] (mg/l)	8,93 ± 0,26	7,67 ± 0,10	9,48 ± 0,06
Conductividad (µS/cm)	23,80 ± 0,72	24,67 ± 1,40	27,50 ± 0,20
pH	8,50 ± 0,10	7,65 ± 0,08	7,80 ± 0,02

Con dichos resultados se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) con el fin de detectar posibles diferencias significativas y semejanzas entre los tres lagos. Previamente, se realizó un test de Shapiro-Wilk y un test de Levene para comprobar la normalidad y la homogeneidad de la varianza de cada variable, respectivamente. Así se probó, que la temperatura, la conductividad y la concentración de oxígeno seguían una distribución normal ($p > 0,05$), pero no así el pH y que las cuatro variables tenían una varianza homogénea ($p > 0,05$). A continuación, se realizó un test ANOVA junto a un test post-hoc de Tukey para las tres variables que presentaban una distribución normal. Con ello se probó que existían diferencias significativas entre los tres ibones en cuanto a temperatura y concentración de oxígeno ($p=0,0000109$; $g.l.= 2, 6$; $F=132,4$ y $p=0,0000892$; $g.l.= 2, 6$; $F=64,15$ respectivamente; Figuras 10 y 11), sin embargo, para la conductividad no se encontraron diferencias significativas entre los dos ibones de mayor tamaño, pero sí de estos dos con el menor de los tres ($p=0,00623$; $g.l.= 2, 6$; $F=13,3$; Figura 12). Para corroborar que las variaciones en la concentración de oxígeno entre ibones se debían principalmente a su relación físico-química proporcionalmente inversa con la temperatura y que no existían otras causas, como por ejemplo diferencias en la producción primaria, se realizó un test de correlación Pearson ($p=0,0004819$; $r^2=-0,9179$). En cuanto al pH, al no presentar una distribución normal, se sometieron los datos a un test no paramétrico de Kruskal-Wallis pudiendo apreciarse diferencias, especialmente entre el ibón de Vallibierna Inferior y los otros dos ($p=0,0265$; $g.l.= 2, 6$; Figura 13)

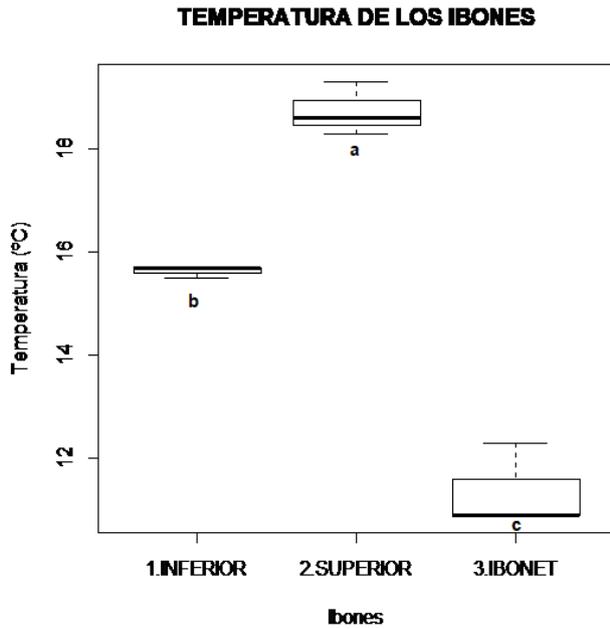


Figura 10. Diagrama de caja para los valores de la temperatura. Se evidencian diferencias significativas entre las mediciones de los tres ibones ($p=0,0000109$; $g.l.= 2, 6$; $F=132,4$). Elaboración propia mediante R Commander.

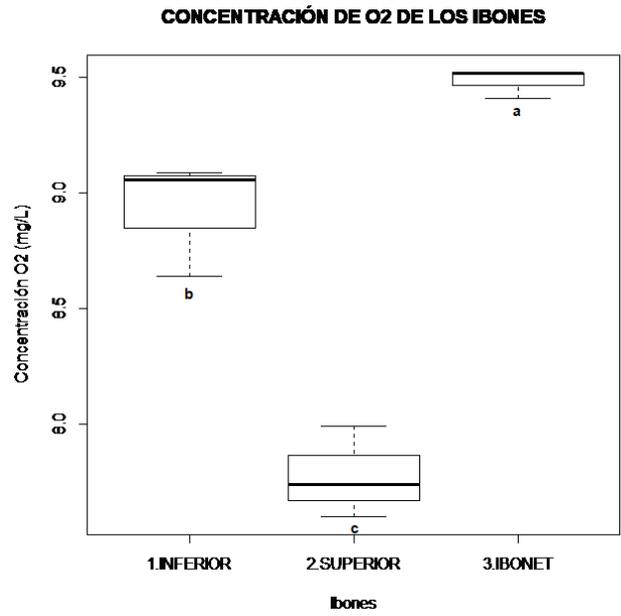


Figura 11. Diagrama de caja para los valores de la concentración de oxígeno. Se evidencian diferencias significativas entre las mediciones de los tres ibones ($p=0,0000892$; $g.l.= 2, 6$; $F=64,15$). Elaboración propia mediante R Commander.

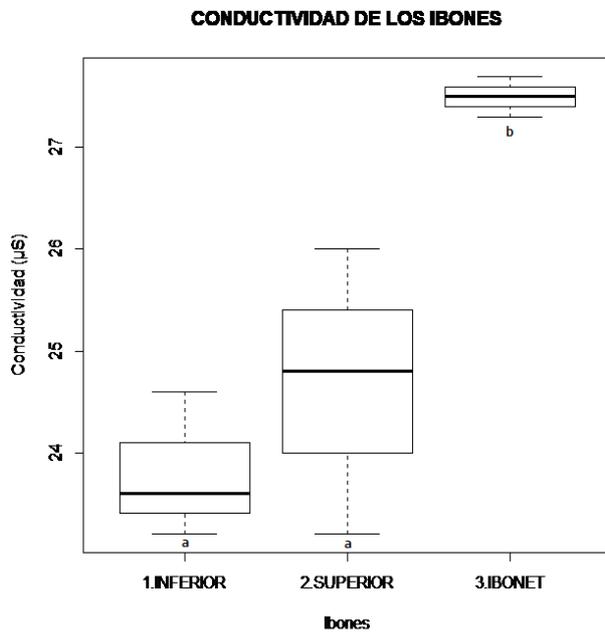


Figura 12. Diagrama de caja para los valores de la conductividad. Se evidencian diferencias significativas entre los dos ibones de mayor tamaño y el de menor ($p=0,00623$; $g.l.= 2, 6$; $F=13,3$). Elaboración propia mediante R Commander.

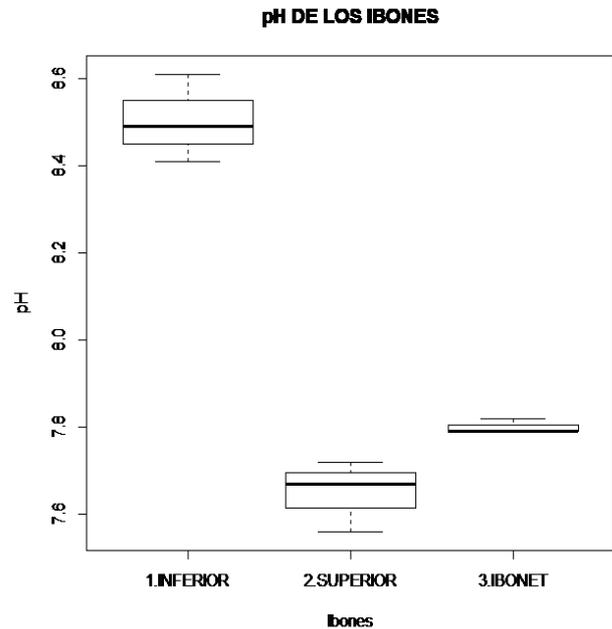


Figura 13. Diagrama de caja para los valores del pH. Se aprecian diferencias entre los ibones, especialmente entre los dos a mayor altitud y el Inferior ($p=0,0265$). Elaboración propia mediante R Commander.

5.3. ANÁLISIS DE COMPUESTOS DE NITRÓGENO Y FÓSFORO

Los valores obtenidos para las diferentes especies de nitrógeno y fósforo (Tabla 4) resultaron muy elevados (diferencias de hasta dos órdenes de magnitud) para las concentraciones que este tipo de lagos suelen presentar (Catalán et al. 2006), por lo que no se han utilizado a la hora de interpretar el resto de resultados. Se ha podido comprobar que el procedimiento y el material de muestreo han sido los adecuados, sin embargo, se ha detectado un fallo en la metodología de análisis que ha producido la sobreestima de las concentraciones de nutrientes. En la discusión se aborda más ampliamente este tema.

Tabla 4. Concentración de diferentes compuestos de nitrógeno y fósforo analizados para los tres ibones de estudio. Todos los valores en mg/l y con su desviación estándar.

(mg/l)		Vallibierna Inferior	Vallibierna Superior	Ibonet de Vallibierna
NH₄	Amonio	0,007 ± 0,002	0,015 ± 0,001	0,020 ± 0,001
NO³⁻	Nitrato	<0,1	0,825 ± 0,552	<0,1
PO₄³⁻	Fosfato	0,265 ± 0,050	0,253 ± 0,140	0,243 ± 0,125
P_T	Fósforo total	0,085 ± 0,015	0,083 ± 0,045	0,075 ± 0,040

5.4. ESTADO TRÓFICO DE LOS IBONES: CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA (Chl.a)

La concentración de clorofila-a del fitoplancton de los tres ibones fue baja (Tabla 5) y propia de un ambiente oligotrófico (<10 µg/L; Dodds y Smith, 2016):

Tabla 5. Absorbancias y concentración de clorofila-a planctónica de muestras obtenidas mediante el filtrado *in situ* de agua de los ibones estudiados.

	Absorbancias				Concentración Chl.a (µg/L)
	665nm	645nm	630nm	750nm	
Vallibierna Inferior	0,005	0,003	0,002	0,003	0,119
Vallibierna Superior	0,01	0,004	0,001	0,002	0,459
Ibonet de Vallibierna	0,003	0,002	0	0,003	< 0,01

A su vez, la normativa vigente respecto a la calidad de las aguas superficiales (Real Decreto 817/2015), considera los valores de concentración de Chl.a como un indicador para evaluar el estado ecológico de estos sistemas (correspondiendo según las tipologías propuestas al tipo L-T01 “Alta montaña septentrional, profundo, aguas ácidas”). Según los valores establecidos por la normativa, los tres ibones obtienen la clasificación de “Muy bueno” en cuanto a su estado ecológico para este indicador (<1’5µg/L).

5.5. COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA

Se encontraron un total de 26 géneros diferentes en la metacomunidad fitoplanctónica de los tres ibones. El ibón Superior fue el que mostró mayor riqueza taxonómica, sin embargo la equitatividad y por lo tanto, también la diversidad, fueron mayores en el Ibonet. Las abundancias específicas de los diferentes géneros en cada lago se muestran a continuación (Tabla 6).

Tabla 6. Composición taxonómica del fitoplancton de los ibones de Vallibierna (2019)

GRUPO	GÉNEROS	Abundancia (individuos/L)		
		Vallibierna Inferior	Vallibierna Superior	Ibonet de Vallibierna
Chlorophyta	<i>Pediastrum</i>	0	691	0
	<i>Scenedesmus</i>	0	691	0
Chrysophyta	<i>Chrisococcus</i>	0	0	691
	<i>Dinobryon</i>	1037	2764	2073
Cryptophyta	<i>Chilomonas</i>	0	0	691
	<i>Rhodomonas/Cryptomonas</i>	1382	6911	691
Cyanobacteria	<i>Merismopedia</i>	0	0	691
	<i>Nostoc</i>	0	691	0
	<i>Oscillatoria</i>	691	4147	691
Diatomea	<i>Achnantes</i>	1382	0	0
	<i>Amphora</i>	0	0	691
	<i>Cyclotella</i>	71185	68421	0
	<i>Cymbella</i>	2764	2764	3456
	<i>Diatoma</i>	1037	1382	0
	<i>Eunotia</i>	0	691	0
	<i>Frustulia</i>	0	691	0
	<i>Gomphonema</i>	0	691	1382
	<i>Navicula</i>	3110	2764	2764
	<i>Nitzschia</i>	4838	8293	691
	<i>Pinnularia</i>	346	1382	0
	<i>Elakotothrix</i>	0	2764	0
	<i>Rhoicosphenia</i>	346	691	691
	<i>Stauroneis</i>	691	0	691
	<i>Surirella</i>	0	1382	691
	<i>Synedra</i>	0	691	0
<i>Tabellaria</i>	0	691	0	
Abundancia total (nº indiv./L)		88809	109197	16587
Riqueza (S)		12	20	14
Diversidad (H)		0,913	1,614	2,416
Equitatividad (E)		1,248	1,596	4,799

El grupo taxonómico con mayor abundancia y riqueza de la metacomunidad de los tres ibones es el de las diatomeas. Concretamente, la comunidad de los dos ibones situados a menor altitud está dominada por los géneros *Nitzschia* y *Cyclotella*, sin embargo, no se encontró ningún individuo de este último en el Ibonet, donde los taxones dominantes son *Cymbella* y *Navicula* (se muestran imágenes de estos y otros organismos encontrados en el Anexo IV).

5.6. COMUNIDAD ZOOPLANCTÓNICA

En los tres ibones analizados, se encontraron un total de 6 taxones, entre crustáceos y rotíferos (Tabla 7). El ibón con mayor abundancia y diversidad es el Superior, mientras que el Ibonet presenta las estadísticas más bajas.

Tabla 7. Composición taxonómica del zooplancton de los ibones de Vallibierna (2019)

			Abundancia (individuos/L)		
GRUPO		GÉNERO/ESPECIE	Vallibierna Inferior	Vallibierna Superior	Ibonet de Vallibierna
Crustacea	Cladocera	<i>Daphnia</i>	0	691	691
	Copepoda	<i>Boeckella</i>	346	0	0
	Ostracoda	<i>Cyclocypris</i>	0	691	0
Rotifera	Brachionidae	<i>Kellicottia longispina</i>	691	691	0
		<i>Notholca squamula</i>	0	0	691
Zooflagellata	-	-	691	0	0
Abundancia total (individuos/L)			1728	2073	1382
Riqueza (S)			3	3	2
Diversidad (H)			1,055	1,099	0,693
Equitatividad (E)			2,5	3	2

5.7. COMUNIDAD DE MACROINVERTEBRADOS

A continuación, en la Tabla 8, se muestran los resultados obtenidos en el análisis de las muestras de macroinvertebrados. La ausencia de datos sobre niveles taxonómicos inferiores (géneros o familias según el grupo), se debe a la complejidad de clasificación que supone dicho taxón y que escapa por tanto a los objetivos del presente trabajo (Se muestran imágenes de las familias y grupos encontrados en el Anexo V). Si bien en el ibón Inferior se dio una clara dominancia de la familia Corixidae, en el ibón

superior destaca una abundancia mucho más homogénea de estos tres grupos, mientras que en el Ibonet dominó por completo la familia Chironomidae.

Tabla 8. Composición taxonómica de los macroinvertebrados de la zona litoral de los ibones de Vallibierna (2019)

GRUPO	FAMILIA	Nº de individuos en la muestra (ind/5m ²)			GÉNEROS
		Vallibierna Inferior	Vallibierna Superior	Ibonet de Vallibierna	
Bivalva	Sphaeriidae	6	6	42	<i>Pisidium</i>
Coleoptera	Curculionidae	1	3	1	-
	Dytiscidae	11	3	8	<i>Oreodytes, Platambus, Melodema</i>
Diptera	Chironomidae	135	82	153	-
	Limoniidae	0	0	1	-
Heteroptera	Corixidae	233	105	0	<i>Arctocorisa</i>
Hidracarina	-	1	0	1	-
Megaloptera	Sialidae	6	41	2	<i>Sialis</i>
Plecoptera	Perlodidae	1	0	0	<i>Perlodes</i>
Tricoptera	Limnephilidae	19	7	4	-
	Polycentropodidae	13	0	3	<i>Plectrocnemia, Polycentropus</i>
Oligochaeta	-	12	100	5	-
Riqueza (S)	-	11	8	10	-
Diversidad (H)	-	1,289	1,614	1,023	-
Equitatividad (E)	-	1,880	3,305	1,437	-

5.8. COMPARACIÓN DE LA COMUNIDAD Y LAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LOS IBONES

Se realizaron test multivariable de tipo *non-metric multidimensional scaling* (NMDS) para comparar las comunidades de los tres ibones y su semejanza. Se obtuvo un stress de 0, por lo que los tres puntos quedan perfectamente representados en el gráfico (lo cual es esperable al tratarse de un número bajo de comunidades -dimensiones- a comparar). Sobre dicha representación se indicaron las variables de tipo ambiental de forma que se pueda visualizar como se relacionan con los tres lagos de estudio. La representación gráfica de estos resultados (Figuras 14 y 15), permite la diferenciación de los tres lagos en cuanto a sus características ecológicas, tanto por sus comunidades como sus variables físico-químicas.

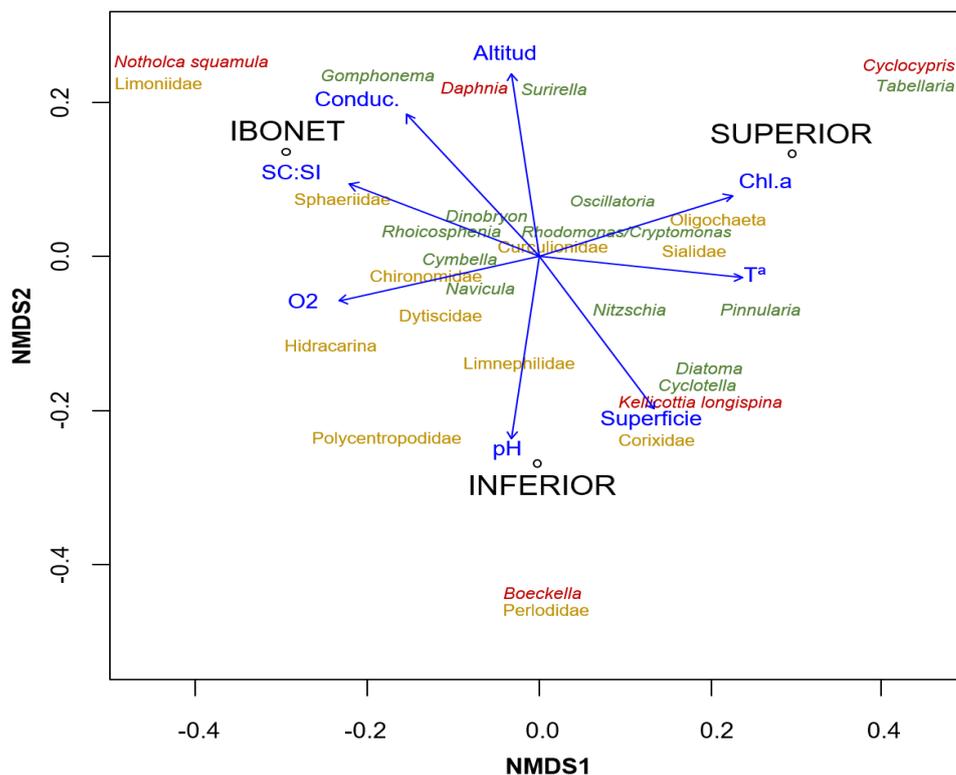


Figura 14. Representación gráfica de NMS2 para todas las comunidades estudiadas de los tres ibones y las variables físico-químicas. Elaboración propia mediante R y vegan.

El Ibón Inferior se caracteriza por tener la mayor superficie de lámina de agua de los tres lagos y el mayor pH. Su comunidad fitoplanctónica se caracteriza por una gran dominancia de *Cyclotella* y la presencia de *Tabellaria flocculosa*, mientras que en la zooplanctónica destaca la especie *Kellicottia longispina* y el género *Boeckella*. Entre los macroinvertebrados destaca la presencia exclusiva de la familia Perlodidae y la dominancia por parte de la familia Corixidae seguida por Chironomidae.

El Ibón Superior presentó la mayor biomasa fitoplanctónica (concentración de Chl.a) y entre su comunidad fitoplanctónica destacó de nuevo *Cyclotella*. La comunidad de zooplancton se caracterizó por la presencia del género *Cyclocypris* y entre los macroinvertebrados se dio una dominancia de Chironomidae, Corixidae y Oligochaeta con una buena representación de Sialidae.

El Ibonet fue el lago con mayor conductividad y relación SC:SI, en este lago la comunidad de fitoplancton tuvo una buena representación del género *Gomphonema* y una dominancia por parte de *Cymbella*. En la comunidad de zooplancton destaca la presencia de la especie *N. squamula*, mientras que la comunidad de macroinvertebrados estuvo caracterizada por la dominancia por Chironomidae y Sphaeriidae y la aparición de la familia Limoniidae.

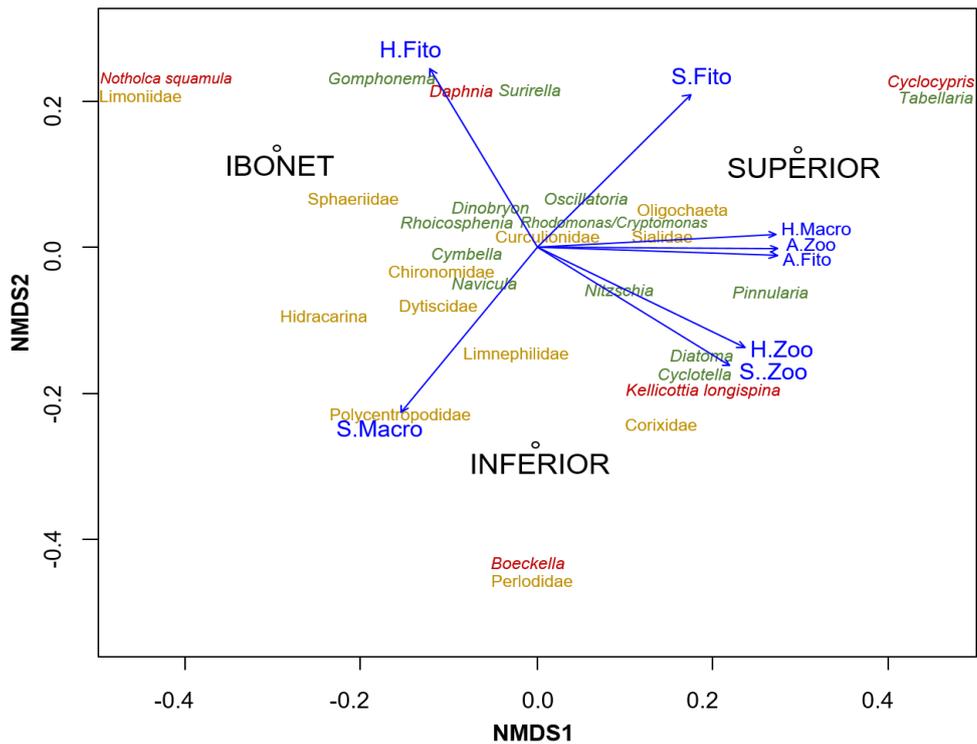


Figura 15. Representación gráfica de NMDS para todas las comunidades estudiadas de los tres ibones junto a su riqueza (S), su diversidad (H) y su abundancia (A). Elaboración propia mediante R y vegan.

El Ibón Inferior se caracterizó por tener la menor diversidad de fitoplancton de los tres lagos estudiados, como consecuencia de la ya citada dominancia del género *Cyclotella*, pero también por presentar la menor riqueza para dicha comunidad. Sin embargo, mostró la mayor riqueza de macroinvertebrados presentando todas las familias de la metacomunidad de los tres lagos salvo Limoniidae.

Por otro lado, el Ibón Superior mostró la mayor riqueza y abundancia para el fitoplancton y para el zooplancton, donde también destaca por su diversidad. Dicha diversidad, es debida a una abundancia homogénea de los géneros *Daphnia*, *Kellicottia* y *Cyclocypris*. Destaca en este lago también, la mayor diversidad de macroinvertebrados (a pesar de presentar una menor riqueza del conjunto de los tres ibones) como resultado de una homogenización en las abundancias de los tres grupos dominantes: Chironomidae, Corixidae y Oligochaeta.

Por último, el Ibonet, resultó ser el lago con mayor diversidad para el fitoplancton con una representación homogénea de todos los grupos de dicha comunidad, solo alterada por unos pocos grupos con cierta dominancia. En cuanto al zooplancton y los macroinvertebrados, este lago mostró la menor diversidad para ambas comunidades, ligada a una baja riqueza en la primera y a una fuerte dominancia de Chironomidae y Sphaeriidae en la segunda.

5.9. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS TRES IBONES: ÍNDICE ECLECTIC

Se determinó el índice ECLECTIC en los tres ibones de estudio a fin de determinar su Estado de Conservación (Tabla 9). Se muestran y justifican brevemente resultados obtenidos para cada bloque del índice, así como el Estado de Conservación de cada uno de los ibones en función del valor final obtenido del índice ECLECTIC:

Tabla 9. Puntuación obtenida por cada ibón en los diferentes bloques y apartados de aplicación del índice ECLECTIC.

		Inferior de Vallibierna	Superior de Vallibierna	Ibonet de Vallibierna
Vegetación característica	Vegetación sumergida	0	0	0
	Vegetación marginal	10	10	10
	Diversidad vegetación	5	5	5
	TOTAL BLOQUE 1	12,5	12,5	12,5
Resto de variables biológicas	Concentración Chl.a	10	10	10
	Índice Trófico Planctónico	10	10	10
	Familias de macroinvertebrados	5	0	5
	Taxones de importancia	10	10	5
	Anfibios o reptiles autóctonos	5	5	5
	Flora y fauna exótica	-1	-1	-1
TOTAL BLOQUE 2	25	24,6	24,6	
Hidrogeomorfología	Superficie del hábitat	20	20	20
	Sistema de llenado	10	10	10
	Sistema de vaciado	10	10	10
	Hidroperiodo	10	10	10
	Modelado de la ribera	10	10	10
	Colmatación	10	10	5
	TOTAL BLOQUE 3	25	25	22,5
Factores físico-químicos	Transparencia del agua	10	10	10
	Mineralización del agua	10	10	10
	pH	5	5	5
	Nutrientes	0	0	0
	TOTAL BLOQUE 4	15,6	15,6	15,6
RESULTADO DEL ÍNDICE ECLECTIC		78,1	77,8	75,3
ESTADO DE CONSERVACIÓN		FAVORABLE	FAVORABLE	FAVORABLE

En cuanto al primer bloque, la vegetación marginal se encuentra bien conservada, encontrando especies típicas como musgos del género *Sphagnum*, representantes del género *Carex*, Grasilla (*Pinguicula grandifolia*), Acónito (*Aconitum napellus*), etc.

En cuanto al bloque 2, cabe destacar el valor de tres indicadores. En cuanto a los valores obtenidos para el ITP en los lagos de estudio se adjuntan a continuación en la Tabla 10. Su bajo valor (ITP<18) probó la intensa oligotrofia de los ibones de estudio.

Tabla 10. Valor asociado a cada parámetro y resultado del cálculo del Índice Trófico Planctónico.

	B		Valor de Qi Aj				ITP
	Chl.a<1	Clorophyceae	Chrysophyceae	Cryptophyceae	Cyanophyceae	Bacillariophyceae	
Vallibierna Inferior	1	0	0	0	0	10	5
Vallibierna Superior	1	0	0	0	0	8	3
Ibonet de Vallibierna	1	0	3	0	0	6	4

En segundo lugar, la puntuación debida a anfibios y reptiles se debe a la presencia de rana bermeja (*Rana temporaria*) en los tres ibones durante los muestreos, tanto adultos como renacuajos. Por último, el punto restado en flora y fauna exótica corresponde a la presencia de peces en estos sistema, dado que de no ser por la introducción humana no podrían haber alcanzado estos sistemas.

En cuanto al bloque sobre hidrogeomorfología, los dos ibones inferiores alcanzan la máxima puntuación posible para dicho bloque dada la inexistencia de alteraciones artificiales en la geomorfología de la cuenca que ocupan y de infraestructuras con fines hidráulicos que pudieran alterar su dinámica de llenado y vaciado. El Ibonet, si bien comparte todas estas características positivas con los dos anteriores, comienza a mostrar signos de colmatación, con un fondo mayoritariamente limoso debido a su gran SC:SI y las fuertes pendientes que drenan hacia él.

Por último, en el bloque 4 enfocado a la evaluación de los parámetros físico-químicos, se consideraron como máximas las puntuaciones de mineralización (conductividad) y de transparencia de sus aguas (fondo de los tres lagos visible desde arriba). Sin embargo, el pH resultó ligeramente más básico de lo que el índice considera para obtener la máxima puntuación. Cabe apuntar, que los valores de pH obtenidos, corresponden a mediciones realizadas en las horas centrales del día cuando la producción primaria es máxima y por tanto mayor es el pH de las aguas (sustracción de CO₂ en disolución). Por otro lado, al carecer de válidos para los nutrientes (P total) se supusieron todos con la menor puntuación posible para no alterar el resultado del índice al alza.

El resultado de la aplicación del índice ECLECTIC para los tres ibones de Vallibierna, revela que su Estado de Conservación es favorable (>70). El protocolo de aplicación de dicho índice, recomienda mencionar y valorar al final del mismo las principales causas que podrían afectar en el futuro a este resultado. Este apartado se desarrolla en la discusión del presente trabajo.

6. DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo permiten considerar a los tres ibones de Vallibierna como ecosistemas independientes, que se diferencian tanto en sus características físico-químicas como biológicas, como ya concluía previamente por Margalef (1949). Los tres lagos están situados muy próximos entre sí compartiendo una misma cuenca, sin embargo, las diferencias existentes entre la superficie de su subcuenca y la superficie del propio lago pueden explicar algunas de las diferencias fisicoquímicas y biológicas encontradas (Camarero et al., 2009; Jacquemin et al., 2019). Los tipos de sustrato predominantes de cada ibón fueron diferentes, probablemente como resultado de diferentes características de sus subcuencas. Entre estas características, están las consecuencias de los resultados obtenidos para la ratio SC:SI, tales como la mayor conductividad y la dominancia del sustrato limoso en el Ibonet. Pero también otras características como pequeñas diferencias en la litología que podrían explicar las diferencias de pH entre el ibón Inferior y los otros dos (el primero sobre granodioritas y los otros dos sobre granitos).

Para los resultados obtenidos para el oxígeno y la temperatura, cabe puntualizar que las diferencias encontradas entre los tres lagos deben ser consideradas resultado de las diferencias de horario de muestreo. Dado que un mayor número de horas de insolación conduce lógicamente a una mayor temperatura de la masa de agua, también conduce a una menor solubilidad del oxígeno. De este modo, las diferencias encontradas para estas variables coinciden con las horas a las que se analizaron en cada ibón, siendo por ejemplo el Ibonet aquel que se estudió más temprano.

Los valores obtenidos para los compuestos de N y P, como se adelantó anteriormente, deben considerarse como no válidos. El grupo de investigación de Agua y Salud Ambiental del Instituto Universitario de Ciencias Ambientales, que accedió amablemente a colaborar en los análisis, informó de una serie de problemas técnicos en el instrumental de análisis que fueron patentes al comparar los resultados obtenidos con casos similares de estudio.

Atendiendo a la bibliografía disponible sobre la concentración de Chl.a, si bien los resultados de los tres ibones de estudio son diferentes entre sí, se encuentran en rangos similares a los de algunos ibones asimilables a los aquí estudiados, como puedan ser el ibón de Cregüeña, el Blanco de Lliterola, el de Bachimala Superior o el de Pixón, mientras que otros muy cercanos y aparentemente parecidos, como el ibón de Llosás, presentan valores muy diferentes (Guisande et al., 2003), indicando la importante diversidad que los ibones pueden presentar incluso en cuanto a sus

características productivas individuales. En cuanto a la relación de estos resultados con el resto de variables, cabe recalcar que normalmente el pH y la concentración de oxígeno disuelto están relacionados positivamente con la producción primaria debido a la sustracción del CO₂ del agua (incremento de pH) y la producción de O₂ que esta conlleva. Sin embargo, en este caso no se apreció una relación directa entre la concentración de clorofila-a, el pH y la concentración de oxígeno, dado que el ibón Inferior mostró una menor concentración de Chl.a que el Superior pero un pH y una concentración de oxígeno mayores. Lo cierto es que la biomasa de fitoplancton es muy baja y posiblemente no pueda llegar a afectar al pH o a la concentración de oxígeno. Por otra parte, es posible que en el ibón Superior se den procesos de respiración (probablemente bentónicos) de mayor importancia que en el Inferior. A su vez, dicha actividad respiratoria podría ser resultado de una mayor actividad bacteriana. En cualquier caso, para confirmar dichas hipótesis se requeriría la realización de un experimento de producción y respiración mediante privación de luz.

En cuanto al fitoplancton, destaca la ausencia total de dinoflagelados en la metacomunidad de los tres lagos, pues mientras una parte importante de la bibliografía habla acerca de grandes diferencias biogeográficas entre las comunidades planctónicas de este tipo de lagos (Filker et al., 2017) o de una distribución modesta de dicho grupo (Triadó-Margarit y Casamayor, 2012), otra habla por el contrario de una importante dominancia y distribución de los dinoflagelados en los lagos pirenaicos, por encima incluso de las diatomeas (Ortiz-Álvarez, 2018). Sin embargo, cabe recordar que estos tres estudios fueron realizados con una metodología muy diferente a la del presente trabajo (secuenciación y análisis de regiones concretas RNA ribosómico de las muestras). Por otro lado, la mayor diversidad fitoplanctónica que el Ibonet presenta respecto a los otros dos ibones, parece estar relacionada con la mayor ratio SC:SI. Del mismo modo que por esta condición el Ibonet presenta una conductividad superior a los otros dos, cabe esperar en él una mayor concentración de materia orgánica en suspensión debida a los materiales alóctonos importados del ecosistema terrestre (Jacquemin et al., 2019). La relación entre una mayor concentración de materia orgánica en suspensión y una mayor diversidad fitoplanctónica, podría explicarse atendiendo a los resultados obtenidos para la comunidad de macroinvertebrados. Una mayor concentración de materia orgánica en suspensión supondría una ventaja para organismos con estrategias tróficas filtradoras, como son los dos grupos de macroinvertebrados dominantes de este lago: el género *Pisidium* y la familia Chironomidae. La mayor abundancia de estos dos grupos, dada la naturaleza pasiva de la alimentación por filtración, habría diversificado la comunidad de fitoplancton mediante

un proceso *top-down* (McQueen et al., 1986) que se evidenciaría en la desaparición o disminución de ciertos grupos abundantísimos en los otros dos lagos, tales como *Cyclotella*. Este proceso ha sido descrito en otros trabajos atendiendo al efecto resultante de una abundancia de especies filtradoras de zooplancton sobre la diversidad del fitoplancton (Sarnelle, 2005). Otra posible explicación para la mayor diversidad de la comunidad fitoplanctónica del Ibonet, asumiendo la ausencia de ictiofauna introducida en este lago (lo cual no puede asegurarse), sería que la presencia de la misma en los dos ibones a menor altitud hubiera provocado un proceso de cascada trófica en ellos, mediante la cual, una disminución del zooplancton por depredación, hubiese conducido a su vez, a una mayor abundancia del fitoplancton y a consecuentes procesos de exclusión competitiva. Esta posibilidad se ve reforzada por los mayores valores de Chl.a y de abundancia de fitoplancton de los ibones Inferior y Superior. Al contrario, el Ibonet es un ecosistema más oligotrófico, donde la entrada de energía se debería principalmente al reciclaje y a la llegada de materia orgánica alóctona, dando lugar a la diversificación de estrategias tróficas, y a consecuencia taxonómicas, entre el fitoplancton para hacer frente a la limitación de nutrientes (Moss, 1973).

En cuanto los organismos encontrados en la comunidad zooplanctónica, ya se ha citado con anterioridad que tres de los géneros encontrados en la metapoblación de los tres ibones (*Daphnia*, *Boeckella* y *Kellicottia*), fueron citados con anterioridad como comunes en este tipo de lagos (Catalán et al., 1992), así como un trabajo que describe al género *Daphnia* como un depredador clave que puede provocar cambios importantes en la estructura del fitoplancton, dada su alimentación basada en la filtración y por tanto llevando cabo un proceso pasivo de selección por tamaños (Sarnelle, 2005). Por otro lado, *Kellicottia longispina* es una especie cosmopolita, que habita incluso aguas marinas (Edmondson y Litt, 1989). Uno de los individuos encontrados presentaba una morfología muy atípica (Ver imagen c del Anexo IV). También cabe citar algunas características de *Notholca squamula* (Ver imagen d del Anexo IV), un rotífero planctónico del cual dice De Manuel (2000), que se caracteriza por ser un estenotermo de aguas frías, por su frecuencia en ambientes litorales muy diferentes (con tolerancia a un amplio rango de salinidad y siendo la especie más abundante del género en la Península Ibérica) que se alimenta principalmente de diatomeas y para el que concreta Ruttner-Kolisko (1974) que es común en lagos alpinos. Del mismo modo, *Cyclocypris* requiere de temperaturas frías, por lo que es muy común en el norte de Europa pero no tanto en la Península Ibérica salvo en este tipo de lagos (Mesquita-Joanes et al., 2002). Finalmente, cabe destacar que los representantes del género *Boeckella* encontrados y asimismo sus huevas, presentaban una coloración muy llamativa (Ver imagen a del

Anexo IV), resultado de la producción de carotenoides como protección frente a la radiación solar (Tartarotti et al., 1999). Se encontró un organismo similar a un zooflagelado para el cual resultó imposible realizar una clasificación taxonómica acertada y por ello consta como tal en las tablas de análisis. Se adjunta una imagen del mismo en el Anexo IV.

Los grupos de macroinvertebrados que presentaron las mayores oscilaciones de abundancia en los diferentes ibones y por tanto los que mayor influencia tienen sobre la diversidad de cada lago, son aquellos que cumplen el papel de consumidores primarios, es decir, los quironómidos (Armitage et al., 1995), los corixidos (Tachet et al., 2000) y los oligoquetos (Moth, 1988). El hecho de que el grupo más abundante de la metacomunidad de macroinvertebrados de los tres ibones sean los dípteros y en concreto la familia Chironomidae queda recogido por diversos estudios en otros ibones y lagos pirenaicos (de Mendoza y Catalán, 2010; Laville, 1971). Dicha abundancia es de gran importancia dado que esta familia suele dominar en un escalafón clave de las cadenas tróficas leníticas: la conexión entre los productores primarios y los consumidores secundarios (Armitage et al., 1995). Además, los dípteros y en concreto los quironómidos, han sido descritos como importantes polinizadores en zonas frías del planeta (Kevan, 1972; Warren et al., 1988), por lo que podrían jugar un papel similar en la alta montaña pirenaica, postulando a los ibones y otros lagos de alta montaña, como elementos con una influencia importante sobre la flora del clima de alta montaña y el clima alpino. Sería interesante la realización de estudios enfocados a investigar este posible servicio ecológico de los ibones para aportar comprensión a la importancia de estos sistemas y posteriormente, de ser necesario, tomar nuevas medidas al respecto de su conservación. Asimismo, los oligoquetos (Füreder et al., 2006), se citan como un grupo típicamente dominante en los lagos oligotróficos de alta montaña. En cuanto a la comunidad de macroinvertebrados del ibón Superior, se dan de nuevo dos explicaciones posibles para su elevada diversidad en comparación con los otros dos lagos: En primer lugar, es posible que dicha diversidad sea consecuencia de un proceso *bottom-up* (McQueen et al., 1986), con origen en una mayor abundancia de productores primarios, tal como señalan los resultados de concentración de Chl.a y la abundancia de fitoplancton en este lago, de modo que este no resulte limitante como recurso trófico y haya permitido a los consumidores colonizar nuevos nichos de hábitat. Como resultado final, la mayor diversidad de los dos grupos dominantes citados anteriormente (entendida a su vez como una mayor diversidad de nicho trófico para los niveles superiores), sería la causa de un aumento de los depredadores en este lago, de modo que el género *Sialis* muestra una abundancia muy superior a los otros dos ibones. En

segundo lugar, podría tratarse de un proceso *top-down* (McQueen et al., 1986), en el que la abundancia de los depredadores, es decir individuos del género *Sialis*, sea debida a una mayor idoneidad del hábitat y que su presencia haya diversificado el grupo de consumidores primarios sobre el que depreda, llevando a una mayor homogeneidad de las abundancias de estos grupos.

Por tanto, el Ibón de Vallibiena Inferior, el de mayor tamaño y menor altitud de los tres, se caracteriza por un sustrato de grandes bloques y un pH elevado con respecto a los otros dos. Su comunidad fitoplanctónica se caracteriza por una baja riqueza debido a la dominancia de géneros como *Cyclotella*. La abundancia de esta comunidad concuerda con los resultados de concentración de Chl.a. Su comunidad de zooplancton es la más rica y diversa de las tres y además presentó la mayor riqueza de macroinvertebrados. El Ibón Superior de Vallibierna, por otro lado, con una superficie similar al anterior, presentó un sustrato más dominado por gravas. La concentración de Chl.a encontrada en él fue la más elevada de los tres lagos y coincide con la mayor abundancia y riqueza del fitoplancton. Asimismo, presentó la mayor abundancia de zooplancton y la mayor diversidad de macroinvertebrados a pesar de la baja riqueza que tuvo este último grupo. Finalmente, el Ibonet, el lago situado a mayor altitud, se caracterizó por ser un ibón de pequeñas dimensiones (el menor de los tres con diferencia) y presentar una elevado ratio SC:SI y consecuentemente una mayor conductividad y un sustrato con predominancia de limos. Se trata del lago más oligotrófico de los tres, coincidente con una bajísima abundancia fitoplanctónica, pero también del zooplancton. Sin embargo, presentó la mayor diversidad fitoplanctónica de los tres ibones como resultado de una elevada equitatividad. A pesar de tener mayor riqueza de macroinvertebrados que el ibón Superior, mostró una diversidad muy baja para este grupo.

Por último en cuanto a la aplicación del índice ECLECTIC, cabe puntualizar que la evaluación obligatoria de la vegetación sumergida, resulta poco lógica para estos sistemas, dado que en otros ibones situados a gran altitud (por encima de los 2.200m) visitados con anterioridad por el autor, tales como Millás, Lenés, del Sen, Còth deth Hòro (Coll de Toro), Cregüeña, Coronas, Estany de Cap de Llauset, etc., es muy frecuente la inexistencia de vegetación sumergida debido, entre otras razones, a la ausencia total de sustrato terroso. De todos modos fue igualmente evaluada (con el menor valor posible dada la ausencia de este tipo de vegetación en los tres ibones de estudio) para no alterar positivamente el resultado del índice. Por otro lado los efectos negativos por los cuales la presencia de icitofauna supone una penalización en la aplicación del índice y por las razones por las que deben considerarse especies alóctonas ya se han descrito con

anterioridad (Ventura et al., 2017). En el caso de estudio, precisamente este problema el que más compromete la conservación de los tres ibones (sin tener certeza de la presencia de la misma en el Ibonet), si bien aún no parece tener consecuencias graves sobre el estado trófico de los lagos, es probable que sus consecuencias sobre la comunidad se hayan producido ya, resultando en pérdidas de taxones, su abundancia y distribución (Ventura et al., 2017).

7. CONCLUSIONES

El pH del ibón Inferior fue significativamente más elevado que el de los otros dos lagos de estudio.

La conductividad del Ibonet fue significativamente más alta que la de los otros dos ibones de estudio.

El estado trófico de los tres ibones, en base a los resultados de Chl.a indicó una muy buen Estado Ecológico de los tres ibones.

Los tres ibones de estudio, presentaron diferencias en cuanto a su sustrato y sus comunidades bentónicas y planctónicas.

El grupo planctónico más ampliamente distribuido y abundante entre los tres sistemas fue el de las diatomeas.

En la comunidad fitoplanctónica de los dos ibones situados a menor altitud dominaron los géneros *Cyclotella* y *Nitzschia*, mientras que el Ibonet presentó abundancias más homogéneas, siendo por ello el más diverso para esta comunidad.

La metacomunidad zooplanctónica tuvo una riqueza muy baja y mostró la mayor abundancia en el ibón Superior

La metacomunidad bentónica de los tres lagos estuvo dominada por especies de la subclase Oligochaeta y las familias Chironomidae (Diptera) y Corixidae (Heteroptera; si bien esta familia no apareció en el Ibonet).

El ibón Superior de Vallibierna presentó la mayor diversidad de macroinvertebrados, a pesar de haber una mayor riqueza de familias en el Inferior.

Los tres ibones de estudio presentan un Estado de Conservación favorable según la aplicación del índice ECLECTIC.

8. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo, dada la gran cantidad de material necesario a transportar hasta los ibones y la importante complejidad y duración de los análisis de las muestras, ha requerido del trabajo de mucha gente que merece un reconocimiento por la ayuda desinteresada prestada al autor, que quiere asimismo agradecerles el apoyo y dedicarles este trabajo. Gracias a Alodia Rubio y Pablo Arias no solo por su papel como porteadores y su ayuda en los muestreos en campo, sino también por su interés durante todo el proceso. A María Luisa Pérez, por formarme con una infinita paciencia en la clasificación de macroinvertebrados, los interesantísimos debates sobre la materia, acompañarme (a pesar de las adversidades) y cargar con material en una de las ascensiones a Vallibierna y por el interés y el apoyo mostrado durante toda la realización de este trabajo. A Marina Klaas, por todo, por todas las horas de estudio y redacción codo con codo, las incontables escapadas a la montaña y a muchos ibones incluyendo los de estudio, porteadando y apoyando en los muestreos; su constante implicación en todas las fases de este trabajo, así como en el resto de ámbitos de mi vida, han supuesto y suponen un apoyo inestimable. A Diego Mota, amigo y compañero de piso y de clase durante estos cuatro años de carrera y en esta última etapa, también de laboratorio, donde su ayuda con la microscopía, la clasificación del plancton, los análisis de clorofila, etc. han ayudado enormemente; resultan incalculables las risas, las horas y el apoyo en el estudio y en mucho más las que se hemos acumulado ya, sin su ayuda habría sido imposible llegar hasta aquí. Agradecer también a Joaquín Albar, natural de Benasque, el haberme acercado desde bien niño a nuestras montañas y concretamente, en este trabajo, su ayuda en la averiguación de la presencia de peces en los ibones. Igualmente a mis padres, porque como en el caso anterior, sin ellos, seguramente estas montañas no serían lo que son para mí, y en concreto, por soportar todos los entresijos burocráticos y logísticos que este trabajo ha conllevado, por su apoyo y su paciencia. En el ámbito académico, agradecerle la ayuda a Ernesto Pérez por atender mis dudas y facilitarme los contactos necesarios para tratar de resolverlas. A Natividad Miguel y a sus compañeros por ofrecer su ayuda y realizar el análisis de nutrientes. Por último, agradecerle a Rocío López, mi directora, todo el compromiso mostrado conmigo y con el trabajo, su apoyo y ayuda en todos los procesos que ha requerido, mucho más allá de las meras obligaciones formales.

9. REFERENCIAS

- Arim, M., Bozinovic, F. y Marquet., A. (2007). On the Relationship between Trophic Position, Body Mass and Temperature: Reformulating the Energy Limitation Hypothesis. *Oikos*, 116 (9), 1254-1530. Recuperado de: www.jstor.org/stable/40235202.
- Armitage, P.D., Cranston, P.S. y Pinder, L.C.V. (1995). *The Chironomidae. The biology and ecology of the non-biting midges*.
- Barbe, J., Lavergne, E., Rofes, G. Lascombe, M., Rivas, Bornard, CH., y J. De Benedittis. (1990). Diagnose rapide des plans d'eau. Informations. *Techniques du CEMAGREF*, 79, 1-8.
- Bartrons, M., y Catalán, J. (2012). High bacterial diversity in epilithic biofilms of oligotrophic mountain lakes. *Microbial ecology* . DOI: 10.1007/s00248-012-0072-4
- Bordonau, J., Pous, J., Queralt, P. y Vilaplana, J. M. (1989). Geometría y depósitos de las cubetas glaciolacustres del Pirineo. *Estudios Geológicos*, 45, 71-79. Recuperado de: <http://estudiosgeol.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeol/article/view/482/503>
- Camacho, A., Borja, C., Valero-Garcés, B., Sahuquillo, M., Cirujano, S., Soria, J.M., Rico, E., De la Hera, A., Santamans, A.C., García de Domingo, A., Chicote, A. y Gosálvez, R.U. (2009). 31 Aguas continentales retenidas. Ecosistemas leníticos de interior En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Recuperado de: https://www.miteco.gob.es/en/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/31_tcm38-196763.pdf
- Camarero, L., Rogora, M., Mosello, R., Anderson, N. J., Barbieri, A., Botev, I., Wright, R. F. (2009). Regionalisation of chemical variability in European mountain lakes. *Freshwater Biology*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02296.x>
- Catalán, J., Ballesteros, E., Camarero, L., Felip, M. y García, E. (1992). Limnology in the pyrenean lakes. *Limnetica* 8 (1), 27-38. Recuperado de: <https://www.limnetica.com/documentos/limnetica/limnetica-8-1-p-27.pdf>
- Catalán, J., Camarero, L., Felip, M., Pla, S., Ventura, M., Buchaca, De Quijano, D. D. (2006). High mountain lakes: Extreme habitats and witnesses of environmental changes. *Limnetica*.
- Copons, R. y Bordonau, J. (1997). El último ciclo glaciario (Pleistoceno Superior-Holoceno) en el macizo de la Maladeta (Pirineos Centrales). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 10 (1-2), 55-66 .Recuperado de: [http://www.sociedadgeologica.es/archivos/REV/10\(1-2\)/Art05.pdf](http://www.sociedadgeologica.es/archivos/REV/10(1-2)/Art05.pdf)
- De Manuel, J. (2000). The rotifers of spanish reservoirs: ecological, systematical and zoogeographic remarks. *Limnetica*, 19, 91-167. Recuperado de: http://limnetica.info/Limnetica/Limne19/L19_091_Rotifers_spanish_reservoirs.pdf
- De Mendoza, G. y Catalán, J. (2010) Lake macroinvertebrates and the altitudinal environmental gradient in the Pyrenees. *Hydrobiologia*, 648, 51-72. DOI: 10.1007/s10750-010-0261-4

- Decreto 204/2010, de 2 de noviembre, del Gobierno de Aragón, por el que se crea el Inventario de Humedales Singulares de Aragón y se establece su régimen de protección. Boletín Oficial de Aragón nº 220, Zaragoza, 11 de noviembre de 2010.
- Decreto Legislativo 1/2015, de 29 de julio, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Espacios Naturales de Aragón. Boletín Oficial de Aragón nº151, Zaragoza, 6 de agosto de 2015.
- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario oficial de la Unión Europea, Bruselas, 22 de diciembre de 2000.
- Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, relativa a la conservación de las aves silvestres. Diario Oficial de la Unión Europea, L 20, Bruselas, 26 de enero de 2010.
- Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. Diario Oficial de las Comunidades Europeas, nº206, Bruselas, 22 de julio de 1992.
- Dodds, W.K. y Smith, V.H. (2016). Nitrogen, phosphorus and eutrophication in streams. *Inland Water*, 6 (2), 155-164. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.5268/IW-6.2.909>
- Edmondson, W.T. y Litt A.H. (1989). Morphological variation in *Kellicotia longispina*. *Hydrobiologia*, 186/187, 109-117. DOI: 10.1007/BF00048902
- Elosegi, A. y Sabater, S. (2009). *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. Fundación BBVA, Bilbao, España. Editado por: Rubes Editorial.
- Filker, S., Sommaruga, R., Vila, I. y Stoeck, T. (2016). Microbial eukaryote plankton communities of high-mountain lakes from three continents exhibit strong biogeographic patterns. *Molecular Ecology*, 25 (10), 2286-2301. DOI: 10.1111/mec.13633.
- Frost, S., Huni, A. y Kershaw, E. (1971). Evaluation of a kicking technique for sampling stream bottom fauna. *Canadian Journal of Zoology*.
- Füreder, L., Ettinger, R., Boggero, A., Thaler, B. y Thies, H. (2006). Macroinvertebrate diversity in Alpine lakes: effects of altitude and catchment properties. *Hydrobiologia* (562), 123-144. DOI: 10.1007/s10750-005-1808-7
- García-Ruiz, J.M., Moreno, A., González Sampérez, P., Valero Garcés, B. y Martí Bono, C. (2010). La cronología del último ciclo glaciar en las montañas del sur de Europa. Una revisión. *Revista Cuaternario y Geomorfología*, 24, 35-36. Recuperado de: <https://digital.csic.es/handle/10261/35139>
- Gobierno de Aragón. Servicio Provincial de Huesca. Unidad de Conservación del Medio Natural (2015). Memoria de gestión. Parque Natural de Posets-Maladeta, 8-9. Recuperado de: <http://www.rednaturaldearagon.com/parque-natural/parque-natural-posets-maladeta/>
- Google Earth Pro (2019). Disponible en: <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- Guiry, M.D. & Guiry, G.M. (2019). ALGAEBASE. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Recuperado de: <https://www.algaebase.org>

- Guisande, C., Bartumerus, F., Ventura, M. y Catalán, J. (2003). Role of food partitioning in structuring the zooplankton community in mountain lakes. *Oecologia*, 136, 627- 635. DOI: 10.1007/s00442-003-1306-4
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2017). Visor Iberpix 4. Recuperado de: <https://www.ign.es/iberpix2/visor/>
- Instituto Geográfico Nacional. (2017). Madrid, España: Iberpix 4. Recuperado de: <https://www.ign.es/iberpix2/visor/>
- Iversen, T., M. (1988). Secondary production and trophic relationships in a spring invertebrate community. *Limnology and Oceanography*, 33 (4), 582-592. Recuperado de: <https://aslopubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.4319/lo.1988.33.4.0582>
- Jacquemin, C., Bertrand, C., Franquet, E., Mounier, S., Misson, B., Oursel, B. y Cavalli, L. (2019). Effects of catchment area and nutrient deposition regime on phytoplankton functionality in alpine lakes. *Science of the Total Environment*, 674, 114-127. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.04.117](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.117)
- Kevan, G.P. (1972). Insect pollination of high arctic flowers. *Ecology*, 60 (3), 831-847. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Peter_Kevan/publication/230662598_Insect_Pollination_of_High_Arctic_Flowers/links/00463536a68327f941000000/Insect-Pollination-of-High-Arctic-Flowers.pdf
- Korbee, N., Carrillo, P., Mata, M.T., Rosillo, S., Medina-Sánchez, J.M. y Figueroa, F.L. (2012). Effects of ultraviolet radiation and nutrients on the structure-function of phytoplankton in a high mountain lake. *Photochemistry and Photobiology*, 11 (6), 1087-1098. DOI: 10.1039/c2pp05336e
- Lampre, F., Romeo, J., Cruchaga, L.J. (2009). El Gran Libro de los Ibones y Glaciares el Pirineo Aragonés. Zaragoza, España: PRAMES Ediciones.
- Lampre, V. (2001). Clima de alta montaña y sistemas morfoclimáticos fríos en el macizo de la Maladeta (Pirineo Aragonés). *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 52, 195-232. Recuperado de: <https://www.raco.cat/index.php/treballsscgeografia/article/viewFile/221070/301875>
- Laville, H. (1971). Rserches sur les chironomides (Diptera) lacustres du massif de Néouville (Hautes-Pyrénées), *Annales de Limnologie*, 7 (3), 335-414. Recuperado de: <https://www.limnology-journal.org/articles/limn/pdf/1971/03/limn197173p335.pdf>
- Le Cren, E.D. y Lowe-McConnell, R.H. (1980). *The functioning of freshwater ecosystems*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ley 3/1994, de 23 de junio, del Gobierno de Aragón, de creación del Parque de Posets-Maladeta en el Pirineo Aragonés. Boletín Oficial de Aragón, nº80, Zaragoza, 1 de julio de 1994.
- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Boletín Oficial del Estado nº299, Madrid, 14 de diciembre de 2007.
- Ley 8/2004, de 20 de diciembre, del Gobierno de Aragón, de medidas urgentes en materia de medio ambiente. Boletín Oficial de Aragón nº151, Zaragoza, 27 de febrero de 2005.

- Margalef, R. (1949). La vida en los lagos de alta montaña me los Pirineos. *Pirineos* (11-12), 5-31. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10261/165366>
- Martínez de Pisón, E. (1989). Morfología glaciar del valle de Benasque (Pirineo aragonés). *Ería: Revista cuatrimestral de geografía*. <https://doi.org/10.17811/er.0.1989.51-64>
- Martínez de Pisón, E. (1990). Morfoestructuras del valle de Benasque (Pirineo Aragonés). *Anales de geografía de la Universidad Complutense*.
- McMinn, A., & Martin, A. (2013). Dark survival in a warming world. *Proceedings. Biological Sciences*, 280 (1755), 20122909. DOI:10.1098/rspb.2012.2909
- McQueen, D.J., Post, J.R. y Mills, E.L. (1986). Trophic relationships in freshwater pelagic ecosystems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 43, 1571-1581. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/237182457_Trophic_Relationships_in_Freshwater_Pelagic_Ecosystems/link/0046353a098013f812000000/download
- Mesquita-Joanes, F., Boronat, M.D. y Miracle, M.R. (2002). T he life history of *Cyclocypris ovum* (Ostracoda) in a permanent karstic lake. *Archiv für Hydrobiologie*, 155 (4), 687-704. DOI: 10.1127/archiv-hydrobiol/155/2002/687
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2013). Protocolo de análisis y cálculo de métricas de fitoplancton en lagos y embalses. Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado, Madrid, España. Recuperado de: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/mfitv2-2013_20_01_2016_tcm30-175294.pdf
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Ministerio para la Transición Ecológica (2010). Madrid, España: IDE Geoportal. Recuperado de: <https://sig.mapama.gob.es/geoportal/>
- Miró, A., Sabás, I., & Ventura, M. (2018). Large negative effect of non-native trout and minnows on Pyrenean lake amphibians. *Biological Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.12.030>
- Moss, B. (1973). Diversity in Fresh-water Phytoplankton. *The American Midland Naturalist*, 90 (2), 341-355. doi:10.2307/2424458
- Orden de 9 de enero de 2014, del Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente por la que se aprueba el Plan General de Pesca de Aragón para el año 2014. Boletín Oficial de Aragón, nº22, Zaragoza, 31 de enero de 2014.
- Ortiz-Álvarez, R., Triadó-Margarit, X., Camarero, L., Casamayor, E.O. y Catalán, J. (2018). High planktonic diversity in mountain lakes contains similar contributions of autotrophic, heterotrophic and parasitic eukaryotic life forms. *Scientific Reports*, 8 (4457). DOI: 10.1038/s41598-018-22835-3
- Oscoz, J., Galicia, D., & Miranda, R. (2011). Clave dicotómica para la identificación de macroinvertebrados de la Cuenca del Ebro. *Journal of Chemical Information and Modeling*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Plante, C. y Downing, J.A. (1989). Production of freshwater invertebrate populations in lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46, 1489-1498. Recuperado de:

<https://downing.public.iastate.edu/tier%202/jadpdfs/1989%20Plante%20and%20Downing%20Production%20of%20freshwater%20invertebrate.pdf>

- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Ruttner-Kolisko, A. (1974). *Plankton rotifers. Biology and taxonomy*. Stuttgart, Alemania: Lubrecht & Cramer Ltd
- Sarnelle, O. (2005). Daphnia as keystone predators: effects on phytoplankton diversity and grazing resistance. *Journal of Plankton Research*, 27 (12), 1229-1238. Recuperado de: <https://academic.oup.com/plankt/article/27/12/1229/1523894>
- Schilling, E. G., Loftin, C. S., & Huryn, A. D. (2009). Macroinvertebrates as indicators of fish absence in naturally fishless lakes. *Freshwater Biology*. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02096.x>
- Shannon, C. E., y Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: University of Illinois Press.
- Streble, H. y Krauter, D. (1987). *Atlas de los microorganismos de agua dulce. La vida en una gota de agua*. España: Editorial Omega
- Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M. y Usseglio-Polatera, P. (2010). *Invertebres d'eau douce. Systematique, biologie, ecologie*. CNRS Editions.
- Tartarotti, B., Cabrera, S., Psenner, R. y Sommaruga, R. (1999): Survivorship of *Cyclops abyssorum taticus* (Cyclopoida, Copepoda) and *Boeckella gracilipes* (Calanoida, Copepoda) under ambient levels of solar UVB radiation un two high-mountain lakes. *Journal of Plankton Research*, 21 (3), 549-560. DOI: 10.1093/plankt/21.3.549
- Tartarotti, B., Trattner, F., Remias, D., Saul, N., Steinberg, E.W.C. y Sommaruga, R. (2017). Distribution and UV protection strategies of zooplankton in clear and glacier-fed alpine lakes. *Scientific Reports*, 7 (4487). DOI: 10.1038/s41598-017-04836-w
- Triadó-Margarit, X. y Casamayor, E.O. (2012). Genetic diversity of planktonic eukaryotes in highmountain lakes (Central Pyrenees, Spain). *Environmental Microbiology*, 14 (9), 2445–2456. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2012.02797.x
- Utermöhl, H. (1958). *Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik*. Stuttgart, Alemania: Schweizertbart.
- Ventura, M., Tiberti, R., Buchaca, T., Buñay, D., Sabás, I., & Miró, A. (2017). Why Should We Preserve Fishless High Mountain Lakes? En *Advances in Global Change Research*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-55982-7_8
- Villar, L. (1982). Esquema de la vegetación del Valle de Benasque (Huesca). *Conferencia pronunciada en Guayente (Benasque)*, 1-11. Recuperado de: <https://digital.csic.es/handle/10261/53348>
- Warren, S.D., Harper, K.T. y Booth, G.M. (1988). Elevational distribution of Insect Pollinators. *American Midland Naturalist*, 120 (2), 325-330. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Steven_Warren3/publication/263272623_Elevatio

[nal Distribution of Insect Pollinators/links/5499ead30cf21eb3df60e136/Elevational-Distribution-of-Insect-Pollinators.pdf](#)

Wissinger, S.A., Oertli, B. y Rosset, V. (2016). Invertebrate Communities of Alpine Ponds. En Batzer, D.P. y Boix, D. (2016). *Invertebrates in Freshwater Wetlands: An International Perspective on Their Ecology* (55-104). Suiza: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-24978-0

Woese, R.C. (1987). Bacterial Evolution. *Microbiological Reviews*, 51(2), 221-271. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC373105/pdf/microrev00049-0051.pdf>

10. ANEXOS

10.1. ANEXO I: RESOLUCIÓN DEL INAGA PARA LA CAPTURA DE MACROINVERTEBRADOS.



Resolución del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental de fecha 29 de abril de 2019.
AUTORIZACIÓN PARA TOMA DE MUESTRAS MACROINVERTEBRADOS EN MASAS DE AGUA DE IBONES DE LA CUENCA DEL RÍO ESERA (HUESCA). EXPEDIENTE INAGA 500201/24/2019/03874.

TITULARES: D. Mario Gaspar Girón

LEGISLACION APLICABLE:

- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, modificada por la Ley 33/2015.
- Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas.
- Decreto 49/1995, de 26 de marzo, de la Diputación General de Aragón, que regula el Catálogo de Especies Amenazadas de Aragón, modificado parcialmente por el Decreto 181/2005, de 6 de septiembre, del Gobierno de Aragón.
- Ley 2/1999, de 24 de febrero, de Pesca en Aragón.
- Orden DRS/64/2019, de 30 de enero, por la que se aprueba el Plan General de Pesca de Aragón para la temporada 2019.
- Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras.
- Decreto 127/2006, de 9 de mayo, del Gobierno de Aragón, por el que se establece un régimen de protección para el cangrejo de río común y se aprueba el Plan de Recuperación.
- Decreto 181/2005, de 6 de septiembre, del Gobierno de Aragón, por el que se modifica parcialmente el Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras.
- Decreto 204/2010, de 2 de noviembre, del Gobierno de Aragón, por el que se crea el Inventario de Humedales Singulares de Aragón y se establece su régimen de protección.
- Decreto Legislativo 1/2015, de 29 de julio, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Espacios Protegidos de Aragón.
- Decreto 168/2014, de 21 de octubre, del Gobierno de Aragón, por el que aprueba el Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural de Posets-Maladeta.

ACTIVIDAD AUTORIZADA: Toma de muestras de macroinvertebrados en los ibones de la cuenca del río Esera (Huesca), mediante un saibore con una red de 500 micras, y posterior transporte para identificación en laboratorio.

AMBITO DE APLICACIÓN: en los siguientes ibones de la cuenca del río Esera (Huesca):

Ibones de Escarpinosa, Aigüeta de Batiellies, Grande de Batiellies, Ibonet de Barbarisa, Gran de Barbarisa, chico de Barbarisa, Baixo de Vallibierna, Alto de Vallibierna, Vallibierna.

VALIDEZ: año 2019.

FINALIDAD: Estudio de la ecología de los lagos de alta montaña del Pirineo Aragonés (Conocer las familias de macroinvertebrados presentes en estos sistemas, establecer densidad y diversidad en los ibones y establecer relación entre estructura de la comunidad, diversidad e índices biológicos y relación S-I-S-C para el trabajo de fin de Grado. Avalado por Rocío López-Flores (Directora del Trabajo Fin de Grado), Escuela Politécnica Superior de Huesca. Universidad de Zaragoza.

Documento firmado electrónicamente verificable en: www.aragon.es/inaga/verificador-documentos
INSTITUTO ARAGONÉS DE GESTIÓN AMBIENTAL, Avda. Ranelas, nº 3 C, plaza 3ª 50018 Zaragoza
Teléfono: 976719633 - Fax: 976719630 - Correo Electrónico: inaga@aragon.es



Según lo dispuesto en el artículo 4 de la Ley 40/2015, de 1 de octubre, de Régimen Jurídico del Sector Público, debe precisarse que las medidas y el condicionamiento ambiental que incorpora el presente informe quedan justificadas y motivada su necesidad para la protección del medio ambiente, ya que dicha protección constituye una razón imperiosa de interés general.

Contra la presente Resolución, que no agota la vía administrativa, cabe recurso de alzada ante el Excmo. Sr. Presidente del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental en el plazo de UN MES, a contar desde el día siguiente al de su notificación, sin perjuicio de cualquier otro que pudiera interponerse.

EL DIRECTOR DEL INSTITUTO ARAGONÉS DE GESTIÓN AMBIENTAL
JESUS LOBERA MARIEL

Documento firmado electrónicamente verificable en:
www.aragon.es/inaga/verificador-documentos
Código de verificación: CSVVG-4GC5B-8FQBY-CKREG



Documento firmado electrónicamente verificable en: www.aragon.es/inaga/verificador-documentos
INSTITUTO ARAGONÉS DE GESTIÓN AMBIENTAL, Avda. Ranelas, nº 3 C, plaza 3ª 50018 Zaragoza
Teléfono: 976719633 - Fax: 976719630 - Correo Electrónico: inaga@aragon.es



CONDICIONES GENERALES:

- La finalidad de los ejemplares recolectados será exclusivamente para la actividad solicitada, quedando prohibido el intercambio, comercio o exposición de las muestras.
- Se tomarán como Normas de general aplicación en todas las aguas de Aragón, todas las medidas específicas contra la dispersión de especies exóticas, como se indica en Orden DRS/64/2019, de 30 de enero, por la que se aprueba el Plan General de Pesca de Aragón para la temporada 2019. (Las embarcaciones, equipos (patos o tube-foat, cubetas, neoprenos, sacaderas, reteles, botas, etc.), maquinaria y todos los elementos que entren en contacto con aguas con presencia de mejillón cebrá deberán someterse a protocolos de desinfección, secado y limpieza tras finalizar el muestreo en dichas aguas, que figuran en la Web de los Organismos de cuenca: <http://www.ohs2010.es>, igualmente deberán respetarse las recomendaciones propuestas por la Confederación Hidrográfica del Ebro, en las masas de agua de sus demarcaciones, relativas a secado, inspección, traslado y desinfección de la embarcación, caña de pescar y material que se introduzca en el agua.
- Se prohíbe el uso de botas con suelas de fieltro para la práctica de la pesca en Aragón.
- No se dará muerte o causará daño a los ejemplares de fauna piscícola capturados, que serán devueltos al medio a la mayor brevedad posible. En caso de captura de alguna especie incluida en el Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras, se deberá proceder según se establece en el Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras.
- La actividad no deberá interferir en ningún caso en los ciclos vitales de las especies ni suponer molestias sobre otras especies de fauna existentes en el entorno.
- No se transitará con vehículos privados por caminos o pistas prohibidas. El acceso a las orillas de las masas de agua se efectuará por caminos o sendas existentes o a través de zonas sin vegetación.
- Cuando la actividad vaya a desarrollarse en Espacios Naturales Protegidos, deberá ser comunicada con suficiente antelación al personal técnico responsable de la gestión del espacio (Servicio Provincial de Desarrollo Rural y Sostenibilidad de Huesca) que determinarán, en su caso, cualquier otra medida que consideren necesario adoptar.
- Esta autorización se presentará ante cualquier autoridad o agente de la misma que lo requiera, acatando en todo momento las Instrucciones de los Agentes de Protección de la Naturaleza que actúen en el ejercicio de sus funciones.
- Se enviará informe-resumen al INAGA (Área Técnica II- Medio Natural) de los resultados de la actividad, y a la Dirección del Parque, siendo condición indispensable para tramitar futuras solicitudes.
- El incumplimiento de lo dispuesto en esta autorización supondrá, además de la instrucción del expediente sancionador, la caducidad inmediata de la autorización. Esta autorización tiene su sustento legal en la legislación citada y se concede sin perjuicio de otras que en su caso sean necesarias, y otros pronunciamientos que puedan formularse por los distintos estamentos competentes.

Documento firmado electrónicamente verificable en: www.aragon.es/inaga/verificador-documentos
INSTITUTO ARAGONÉS DE GESTIÓN AMBIENTAL, Avda. Ranelas, nº 3 C, plaza 3ª 50018 Zaragoza
Teléfono: 976719633 - Fax: 976719630 - Correo Electrónico: inaga@aragon.es



Expediente: INAGA/500201/24/2019/03874
Asunto: RESOLUCIÓN
Destinatario: MARIO GASPAR GIRÓN
CARRERA DE CUARTE S/N
22071 HUESCA HUESCA
HUESCA

Adjunto se remite Resolución dictada por el Director del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental, relativa al expediente INAGA/500201/24/2019/03874 denominado "CAPTURA MACROINVERTEBRADOS EN CUENCA RIO ESERA" promovido por MARIO GASPAR GIRÓN.

En Zaragoza, a 02 de Mayo de 2019

EL JEFE DE ÁREA TÉCNICA II DEL INSTITUTO ARAGONÉS DE GESTIÓN AMBIENTAL

Fdo.: OSCAR FAYANÁS BUEY.-



Documento firmado electrónicamente verificable en: www.aragon.es/inaga/verificador-documentos
INSTITUTO ARAGONÉS DE GESTIÓN AMBIENTAL, Avda. Ranelas, nº 3 C, plaza 3ª 50018 Zaragoza
Teléfono: 976719633 - Fax: 976719630 - Correo Electrónico: inaga@aragon.es

INSTITUTO ARAGONÉS DE GESTIÓN AMBIENTAL, Avda. Ranelas, nº 3 C, plaza 3ª 50018 Zaragoza
Teléfono: 976719633 - Fax: 976719630 - Correo Electrónico: inaga@aragon.es

10.2. ANEXO II: RESOLUCIÓN DEL PARQUE NATURAL POSETS MALADETA PARA CIRCULACIÓN CON VEHÍCULO PARTICULAR



Departamento de Desarrollo Rural
y Sostenibilidad

Servicio Provincial Huesca
Ricardo del Arco, 6
22071 HUESCA
Teléfono 974.293395/96
Fax 974.293147

Lugar y Fecha: Huesca, a 22 de julio de 2019

S/Referencia:

N/Referencia: FPC/Agb

Asunto: Autorización PN Posets-Maladeta

Destinatario:

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
ATT. ROCIO LÓPEZ FLORES
CTRA. DE CUARTE, S/N
22071 HUESCA

En relación con su solicitud de autorización para circular por pistas de acceso a la Zona de Vallibierna, hasta el refugio de Coronas y a la pista de Estós para acceder a los ibones de Batisielles, con el objeto de realizar trabajos de fin de Estudios del Grado de Ciencias Ambientales en la Universidad de Zaragoza, en el interior del Parque Natural Posets-Maladeta, se *AUTORIZA* en función del art. 50.1 a) del Decreto 148/2005 de 26 de julio por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales del mencionado Parque y del artículo 9.1 del Decreto 168/2014 de 21 de octubre por el que se aprueba el PRUG, con las siguientes condiciones:

1. Las personas autorizadas son las siguientes:

<u>PERSONA AUTORIZADA</u>	<u>D.N.I</u>	<u>VEHICULO</u>	<u>MATRICULA</u>
MARIO GASPAR GIRÓN	██████████	██████████	██████████

2. La validez de la autorización está comprendida en el periodo del 15 de julio al 30 de septiembre de 2019.
3. La autorización es válida para cualquier pista del interior del Parque, que por motivos de investigación fuera necesario recorrer.
4. No se permite la circulación del vehículo fuera del trazado de las pistas, no pudiendo estacionar dentro del monte.
5. No se perturbará la fauna silvestre que pudiera encontrarse en las zonas escogidas por ustedes por su interés geológico.
6. En todo momento se tendrá en cuenta la normativa vigente en materia de prevención y lucha contra incendios forestales, y especialmente la vigente *Orden del 18 de febrero de 2019, por la que se prorroga transitoriamente la Orden de 20 de febrero de 2015, del Consejero de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, sobre prevención y lucha contra incendios forestales en la Comunidad Autónoma de Aragón para la campaña 2.015/2.016* (condicionada a la publicación de la nueva Orden). Además de ello, durante el desarrollo de la actividad tiene preferencia absoluta el dispositivo de incendios. La persona a la que va dirigida esta autorización será la responsable de asegurar que se respete en todo momento el tránsito y las actuaciones derivadas del ejercicio de las funciones de dicho dispositivo.
7. Se seguirá en todo momento, las instrucciones que pudieran recibir por parte de los Agentes de Protección de la Naturaleza de servicio en el Parque. Se comunica teléfono del Agente, Ricardo Jaquet Alos (618 441 378).
8. Durante los meses de junio a septiembre de 2019 tendrá preferencia el autobús que circula hacia la Besurta y Vallibierna, sobre cualquier otro vehículo.

EL DIRECTOR DEL SERVICIO PROVINCIAL

10.3. ANEXO III: IMÁGENES DE LOS TRES IBONES DE VALLIBIERNA



Figura 16. Ibón Inferior de Vallibierna, al fondo Tuca del Cap de Llauset (2869m). Fotografía por Mario Gaspar.



Figura 17. Ibón Superior de Vallibierna. Fotografía por Marina Klaas.

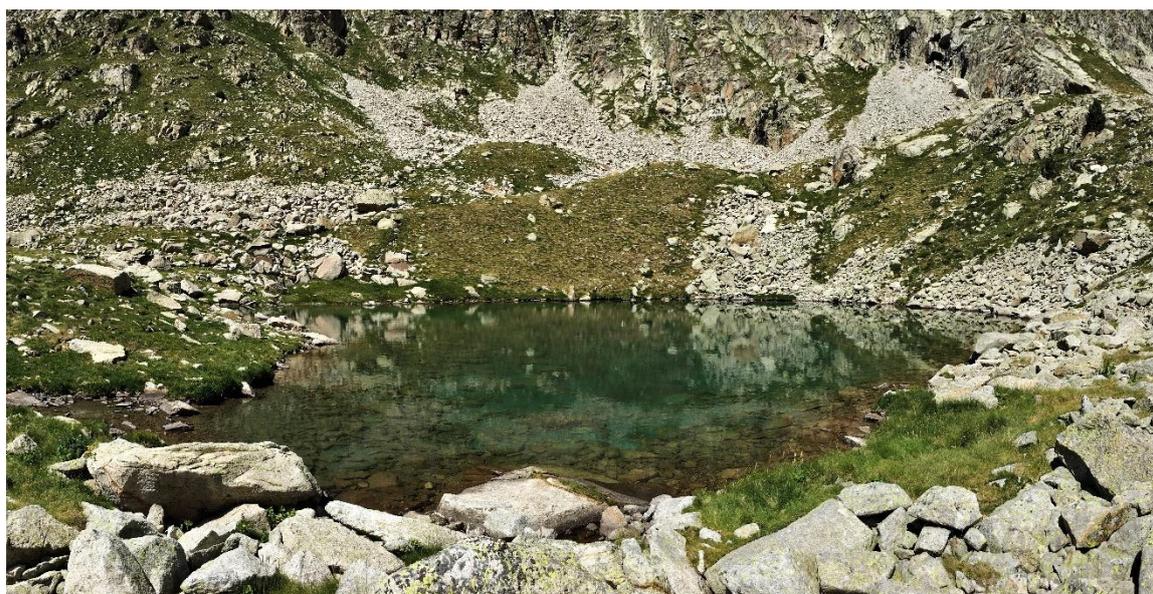


Figura 18. Ibonet de Vallibierna. Fotografía por Marina Klaas.

10.4. ANEXO IV: IMÁGENES DE ALGUNOS GRUPOS PLANCTÓNICOS ENCONTRADOS



Figura 19. Algunos organismos planctónicos encontrados en los ibones de Vallibierna: (a) *Boeckella* (Copepoda); (b) zooflagelado no especificado; (c) *Kellicottia longispina* (Rotifera); (d) *Notholca squamula* (Rotifera); (e) *Tabellaria flocculosa* (Diatomea); (f) *Pediastrum* (Chlorophyta); (g) *Pinnularia* (Diatomea); (h) *Nitzschia*, *Navicula*, *Cyclotella* (Diatomea) y (Chlorophyta). Elaboración propia. Fotografías por Mario Gaspar.

10.5. ANEXO V: FAMILIAS DE MACROINVERTEBRADOS



Figura 20. Representantes de los diferentes grupos de macroinvertebrados encontradas en los tres ibones de Vallibierna. (a) *Arctocorisa* (Croixidae, Heteroptera); (b) Chironomidae (Diptera); (c) Limoniidae (Diptera); (d) Limnephilidae (Trichoptera); (e) Polycentropodidae (Trichoptera); (f) *Pisidium* (Sphaeriidae, Bivalva); (g) Hidracarina; (h) *Perlodes* (Perlodidae, Plecoptera); (i) *Sialis* (Sialidae, Megaloptera); (j) Oligochaeta; (k) *Oreodytes* (Dytiscidae, Coleoptera); (l) Curculionidae (Coleoptera). Elaboración propia. Fotografías por Mario Gaspar